



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

WALQUÍRIA SILVA MACHADO

**ANÁLISE DA EXPANSÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR NA
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CAPIVARA (SP)**

WALQUÍRIA SILVA MACHADO

**ANÁLISE DA EXPANSÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR NA
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CAPIVARA (SP)**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa
de Pós-Graduação em Agronomia, da
Universidade Estadual de Londrina.

Orientador: Prof. Dr. João Tavares Filho

Londrina
2012

**Catálogo elaborado pela Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central da
Universidade Estadual de Londrina.**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

M149a Machado, Walquíria Silva.
Análise da expansão da cana-de-açúcar na bacia hidrográfica do Rio
Capivara (SP) / Walquíria Silva Machado. – Londrina, 2012.
140 f. : il.

Orientador: João Tavares Filho.
Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina,
Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia,
2012.
Inclui bibliografia.

1. Cana-de-açúcar – São Paulo (Estado) – Teses. 2. Cana-de-açúcar –
Solos – Teses. 3. Solos – Manejo – Aspectos ambientais – Teses. 4.
Agroindústria canavieira – Teses. 5. Bacias hidrográficas – Rio
Capivara (SP) – Teses. 6. Sensoriamento remoto – Teses. I. Tavares
Filho, João. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências
Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

CDU 633.61:631.4

WALQUÍRIA SILVA MACHADO

**ANÁLISE DA EXPANSÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR NA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO CAPIVARA (SP)**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa
de Pós-Graduação em Agronomia, da
Universidade Estadual de Londrina.

BANCA EXAMINADORA

Dr^a. Graziela Moraes de Cesare Barbosa
IAPAR – Londrina - PR

Prof^a. Dr^a. Nilza Aparecida Freres Stipp
UEL – Londrina - PR

Prof^a Dr^a Maria de Fátima Guimarães
UEL – Londrina - PR

Prof. Dr. Ricardo Ralisch
UEL – Londrina - PR

SUPLENTE

Prof. Dr. Osvaldo Coelho Pereira Neto
UEL – Londrina - PR

Prof. Dr. Osmar Rodrigues Brito
UEL – Londrina - PR

Prof. Dr. João Tavares Filho
Orientador
UEL – Londrina - PR

Londrina, 30 de março de 2012.

À minha família que sempre acreditou em mim, independente de qualquer circunstância. Em especial ao meu pai por me ensinar o que eu precisei sobre o setor canavieiro, me auxiliando na realização deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador professor Dr. João Tavares Filho, sempre paciente, compreensivo e amigo. Deixo aqui expressa a minha admiração e o meu sempre, muito obrigada!

À Universidade Estadual de Londrina (UEL), pela oportunidade de realização do curso.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudo.

Aos membros da banca examinadora, pelas sugestões e considerações.

Ao meu amigo Tiago Santos Telles, pela ajuda nas análises físicas do solo e interpretação dos resultados.

Gostaria de agradecer também ao meu amigo Ricardo Campos, pelo auxílio e contribuição na finalização do trabalho.

E principalmente á minha querida amiga Nilza Freres Stipp. Minha rainha! Por que sem ela, eu não chegaria até aqui.

E finalmente á Fazenda Rancho Alegre Agroindustrial, pelo fornecimento da área e equipamentos necessários à realização deste trabalho.

“O mundo é um teatro. Quem chega primeiro ocupa os melhores lugares”.

Walquíria Machado

MACHADO, Walquíria Silva. **Análise da expansão da cana-de-açúcar na bacia hidrográfica do Rio Capivara (SP)**. 2012. 140 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina.

RESUMO

A cana-de-açúcar é uma das culturas agrícolas de grande importância econômica para o Brasil. Em relação à área total ocupada com cana-de-açúcar, o estado de São Paulo representa 52,2% (4,37 milhões de ha) e a bacia hidrográfica do Rio Capivara situada no sudoeste deste Estado, dispõe de um dos principais parques sucroalcooleiros do Brasil. Esta região teve suas áreas, antes cobertas por mata natural e algumas culturas de subsistência, gradativamente substituídas por canaviais com cultivo contínuo e prolongado. Diante do exposto, a presente Tese se propôs avaliar, através de dados de sensoriamento remoto, a expansão da atividade sucroalcooleira na bacia do rio Capivara no sudoeste paulista entre 1970 e 2010, bem como a situação ambiental da mesma e a compactação do solo desta bacia em diferentes manejos de cana-de-açúcar, a partir de dados de resistência do solo à penetração, porosidade, carbono orgânico e densidade do solo. Para isso, foram utilizadas duas imagens Landsat TM, sendo uma de 1977 e outra de 2010, que foram georreferenciadas, classificadas e processadas, a fim de se obter as cartas temáticas das duas datas. Foram analisados aspectos quantitativos, e qualitativos, bem como a diminuição da cobertura vegetal, potencial erosivo e a expansão das lavouras de cana-de-açúcar nas regionais administrativas da região. Foram avaliados alguns atributos físicos na camada de 0-20 m de profundidade, na entrelinha do canavial em três sistemas de colheita da cana-de-açúcar e uma mata nativa. As áreas de pastagens, que em 1977 chegaram a ocupar 59% da área da bacia, foram reduzidas em 2010 para 10% ao mesmo tempo em que as lavouras de cana-de-açúcar aumentaram de 4% para 35%. Os resultados obtidos mostraram que na bacia estudada existe um cenário promissor para toda indústria canavieira, pois, reúne todas as condições físicas e ambientais para a expansão, ocupando principalmente antigas áreas de pastagens degradadas. E no que tange a situação das propriedades físicas do solo sob esse cultivo em diferentes manejos, ficou constatado que mesmo possuindo compactação por causa do tráfego intenso de máquinas e colhedoras nas entrelinhas do canavial, a mecanização já é uma realidade em todo o estado de São Paulo, pois, ela não só aumenta o rendimento operacional do procedimento como também reduz seu impacto ambiental, por dispensar a queima da palha aumentando o teor de carbono no solo.

Palavras-chave Setor sucroalcooleiro. Evolução do uso do solo. Sensoriamento remoto. Compactação do solo.

MACHADO, Walquíria Silva. **Analysis of the sugarcane expansion in the river basin Capivara (SP)**. 2012. 140 p. Thesis (Doctoral in Agronomy) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina.

ABSTRACT

The sugar sugarcane is a crop of great economic importance to Brazil. In relation to the total area used for sugarcane sugar, the State of Sao Paulo represents 52.2% (4.37 million ha) and the Capivara River basin located in the southwest of this State, has a major Brazil's sugar and alcohol parks. This region had its areas previously covered by natural forest and some subsistence crops, gradually replaced by sugar cane cultivation with continuous and prolonged. Given the above, this Thesis proposed to evaluate, through remote sensing data, the expansion of activity in sugarcane Capivara River Basin in southwestern São Paulo between 1970 and 2010 as well as the environmental situation and the same soil compaction in this basin different management of sugarcane sugar, from data of soil resistance to penetration, porosity and bulk density. To do this, we used two Landsat TM, one and another 1977, 2010, which were georeferenced, sorted and processed in order to obtain the thematic maps of the two dates. Quantitative aspects were analyzed, and qualitative as well as the decrease in vegetation cover, erosion potential and the expansion of plantations of sugar sugarcane in the regional administrative region. Some physical properties were evaluated at 0-20 m depth, between rows of sugarcane in three crop systems of sugarcane sugar and a native forest. The pastures, which in 1977 came to occupy 59% of the basin area, were reduced in 2010 to 10% while the crops of sugar sugarcane increased from 4% to 35%. The results showed that in the study area there is a promising scenario for the entire sugar industry therefore has all the physical and environmental conditions for the expansion, occupying mainly old degraded pasture areas. And regarding the situation of the physical properties of soil under different management in this crop, it was found that even having compression because of the heavy traffic of machines and the lines of the sugarcane harvester, mechanization is already a reality throughout the state of São Paulo, therefore, it not only increases the operating efficiency of the procedure but also reduce their environmental impact, to waive the burning of straw.

Keywords Sugar and ethanol industry. The evolution of land use. Remote sensing. Soil compaction.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Evolução da área, produção e produtividade Brasileira da cana-de-açúcar de 1975 (ANO) à 2009.....	20
Tabela 2 –.Composição química da vinhaça (kg/m ³ Vinhaça)	41
Tabela 3 –.Composição química do bagaço	43
Tabela 4 – Composição química da torta de filtro	44
Tabela 5 –.Potencial de produção de eletricidade por biomassa	45
Tabela 6 –.Estimativas da redução do número de empregados dos setores de cana-de-açúcar, açúcar e álcool no Estado de São Paulo	59
Tabela 7 –.Textura do solo e densidade de partículas.....	68
Tabela 8 –.Classificação de solos na bacia do rio Capivara.....	76
Tabela 9 –.Índices de vegetação atual da bacia do rio Capivara	82
Tabela 10 – Índices de declividade da bacia do rio Capivara	89
Tabela 11 – Valores hipsométricos da bacia do rio Capivara.....	95
Tabela 12 –. Potencial natural erosivo da bacia do rio Capivara	99

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Derivados do etanol.....	39
Figura 2 - Localização da área de estudo.....	72
Figura 3 - Carta imagem de solos representando a zona transição	73
Figura 4 - Carta de Solos da bacia do rio Capivara	75
Figura 5 - Carta de pluviosidade da bacia do rio Capivara	79
Figura 6 - Evolução da destruição da cobertura florestal primitiva no Oeste Paulista	81
Figura 7 - Carta de vegetação atual	82
Figura 8 - Carta de uso do solo na bacia do rio Capivara no ano de 1977	83
Figura 9 - Carta de uso do solo na bacia do rio Capivara no ano de 2010.....	84
Figura 10 - Carta de declividade da bacia do rio Capivara.	88
Figura 11 - Carta de erosividade da bacia do rio Capivara.....	91
Figura 12 - Carta Hipsométrica da bacia do rio Capivara	94
Figura 13 - Carta de potencial natural erosivo	98
Figura 14 - Valores médios e intervalo de confiança (95%) da (a) densidade do solo	101
Figura 15 - Valores médios e intervalo de confiança (95%) da resistência do solo.....	105
Figura 16 - Valores médios e intervalo de confiança (95%) do teor de carbono orgânico.....	107
Figura 17 - Fotos da Área de Estudo e Coleta de Solos.....	129

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1 HISTÓRICO DA CANA-DE-AÇÚCAR	17
2.1.1 A Ocupação do Oeste Paulista e o Cultivo da Cana-de-Açúcar no Estado de São Paulo	22
2.1.2 Cultivo da Cana-de-Açúcar na Bacia Hidrográfica do Rio Capivara.....	26
2.1.3 Fatores que Influenciaram a Expansão Canavieira no Brasil.....	30
2.2 A AGROINDÚSTRIA CANAVIEIRA E O MEIO AMBIENTE	32
2.2.1 Subprodutos da Cana-de-Açúcar	37
2.2.2 Álcool Etílico (C ₂ H ₅ OH)	38
2.2.3 Açúcar	39
2.2.4 Vinhaça	40
2.2.5 Bagaço	42
2.2.6 Torta de Filtro	43
2.2.7 Palhiço	44
2.2.8 Novos Produtos Industriais	46
2.3 COLHEITA MECANIZADA E COMPACTAÇÃO DO SOLO	48
2.3.1 Queima dos Canaviais	51
2.3.2 Colheita Mecanizada no Estado de São Paulo	53
2.4 O USO DO SENSORIAMENTO REMOTO NA ANÁLISE AMBIENTAL	55
2.5 O MERCADO DE TRABALHO NO SETOR SUCROALCOOLEIRO	57
3 INDICADORES SOCIECONOMICOS E AGROAMBIENTAIS	61
3.1 RESUMO	61
3.2 INTRODUÇÃO.....	61
3.3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	64
3.3.1 Características Físicas da Bacia do Rio Capivara.....	70
3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	80
3.4.1 Indicadores Agroambientais.....	100
3.5 CONCLUSÕES.....	109

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	111
REFERÊNCIAS.....	113
GLOSSÁRIO.....	127
APÊNDICES	128
APÊNDICE A Fotos da Área de Estudo e Coleta de Solos	129
ANEXOS.....	131
ANEXO A Cana-de-Açúcar: Linha do Tempo.....	132
ANEXO B A Versatilidade da Cana-de-Açúcar	134
ANEXO C Órgãos Ligados ao Setor Sucroalcooleiro	135

1 INTRODUÇÃO

O Brasil ocupa a primeira posição na produção de açúcar e etanol derivados de cana-de-açúcar no mundo e essa produção vem aumentando. Dados divulgados pela CONAB (2012) mostram que a produção total de etanol saltou de 10,5 bilhões de litros na safra 2000/2001 para uma estimativa de 22,9 bilhões de litros de etanol na safra 2011/2012. Nesse mesmo período, a produção de açúcar saiu de 16 para cerca 36,9 milhões de toneladas. Esses resultados foram alcançados graças ao aumento da área plantada, às melhorias na condução da cultura e aos esforços de programas de melhoramento atuantes no país na disponibilização de novas variedades.

A área plantada com cana-de-açúcar no Brasil nesta safra de 2011 foi de pouco menos de 8,4 milhões de hectares com produção de 641,982 milhões de toneladas e produtividade de 76,039 t/ha (CONAB, 2011). Contudo, um recente estudo apontou que o Brasil tem, ao todo, 271 milhões de hectares que podem ser destinados ao cultivo de cana-de-açúcar.

Deste total, cerca de 3% são consideradas áreas que podem apresentar altas produtividades ($81,4 \text{ t.ha}^{-1}$), 42% são terras de média produtividade ($71,3 \text{ t.ha}^{-1}$), e 55% áreas com baixas produtividades ($64,8 \text{ t.ha}^{-1}$) (CORTEZ, 2010). Estudos (UNIÃO DOS PRODUTORES DE BIOENERGIA, 2012) têm apontado para um aumento da área plantada com cana-de-açúcar dos atuais 8,4 milhões para 15 milhões de hectares até o ano de 2020. As áreas para expansão serão localizadas principalmente no Oeste de São Paulo, nas áreas de Cerrado em Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso do Sul, áreas no Oeste da Bahia, Sul do Maranhão, Tocantins e Piauí. Estas regiões estariam predominantemente sendo utilizadas com pastagens e, em comparação às áreas ocupadas tradicionalmente com a cultura, apresentam invernos secos, e períodos de estocagem de água bem menos pronunciados.

A área colhida no Brasil, em 2011/2012, teve aumento de 8,40% em relação à safra de 2009/2010. O aumento da área pode ser explicado a partir do crescimento natural das áreas das usinas recentemente instaladas, das áreas de renovação e do aumento de moagem em determinadas unidades produtivas. Em relação à área total, o estado de São Paulo representa 52,2% (4,37 milhões de ha) plantados com cana-de-açúcar, seguido por Minas Gerais com 8,97% (768,64 mil hectares), Goiás com 8,54% (732,02 mil hectares), Paraná com 7,17% (614,01 mil

hectares), Mato Grosso do Sul com 6,31% (540,97 mil hectares), Alagoas com 5,35% (458,09 mil hectares) e Pernambuco com 3,48% (298,39 mil hectares). Nos demais estados produtores as áreas são menores, com representações abaixo de 3% (CONAB, 2011).

A expansão da área plantada com cana-de-açúcar tem comportamento diferenciado em todo o País. O maior percentual de aumento está na região Sudeste, responsável por 96,38% do total da área nova agregada (CONAB, 2011). A região Sudeste foi a que apresentou o maior aumento, acrescentando 357.183 hectares à área existente. Em São Paulo o aumento foi de 246.011 mil hectares e em Minas Gerais 106.640 hectares. Outra região que apresentou crescimento significativo na área de expansão foi a Centro-Oeste, 188.396 hectares, puxado por Goiás pelo plantio de 115.792 hectares, seguido pelo Mato Grosso do Sul, 65.347 hectares.

Na região Sul o Paraná vai plantar 50.066 hectares de novas lavouras. O total da área de expansão em todo País deve ficar em 618.056 hectares. Em muitos estados os produtores tiveram dificuldades no momento do plantio por falta de umidade no solo e tiveram que utilizar a irrigação, o que aumentou o custo da lavoura (CONAB, 2011; UDOP, 2012; ÚNICA, 2011).

Uma das áreas de grande crescimento econômico e agrícola do estado de São Paulo é o sudoeste, denominado como Vale do Paranapanema, que dispõe de um dos principais parques sucroalcooleiros do Brasil (depois da região de Ribeirão Preto, SP), extremamente diversificado e moderno (STAB, 2011, UDOP, 2010; ÚNICA, 2010).

Nessa região o plantio de cana-de-açúcar sempre foi muito estimulado, principalmente após o PROÁLCOOL em 1973, acarretando um aumento expressivo das usinas de moagem da região, bem como da mão-de-obra empregada. Com este estímulo, nos municípios da bacia do Rio Capivara, o plantio de cana-de-açúcar substituiu em torno de 24.000 ha de pastagens e pouco mais de 3.000 ha de áreas com outras culturas. Em 1977, a cultura canavieira ocupava apenas 4% da área dos municípios da bacia, passando para um aumento expressivo a partir da década de 1990 (LORA et al., 2006).

As áreas de pastagens foram as que mais cederam terras para a expansão (LORA et al., 2006). Esse fato ocorreu principalmente em solos de maior

erodibilidade, uma vez que as terras de maior potencial agrícola já eram ocupadas com a cultura de cana-de-açúcar e outras culturas anuais, antes de 1970.

Rudorff et al. (2005), com a utilização de fotografias aéreas, detectaram que a ocupação pela cultura da cana-de-açúcar na bacia do Rio Capivara pode estar associada às condições distintas de solo e relevo e influenciadas pela localização da área em relação à proximidade de usinas de açúcar e álcool e incentivos governamentais, sendo estes os grandes responsáveis por mudanças expressivas nos canaviais da região.

Pode-se observar também que a pressão pelo uso de fontes de energia alternativa aos combustíveis fósseis, observada nas últimas décadas, vem fazendo com que os agrossistemas canavieiros sejam cada vez mais explorados com tecnologias baseadas no uso de máquinas agrícolas em todas as etapas do processo produtivo (PAULINO et al., 2004).

Assim sendo, as exigências governamentais proibindo o emprego do fogo no corte da cana, a competitividade do setor canavieiro e pressões internacionais por uma produção sustentável têm mudado o cenário da agricultura canavieira no Brasil, aumentando a incorporação da mecanização à colheita da cana.

Nesse sentido, Souza et al. (2005), ao avaliarem o efeito de sistemas de manejo da cultura da cana-de-açúcar nos atributos físicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico de textura média, constataram que a compactação do solo, em decorrência da colheita mecanizada dessa cultura, pode promover reduções superiores a 50% no volume de macroporos do solo, afetando a aeração e a movimentação da água no solo (infiltração, redistribuição e percolação para as camadas mais profundas), fato que pode influir no desenvolvimento da cultura e potencializar as perdas de solo e nutrientes por erosão e o assoreamento dos mananciais.

Diante do exposto, objetivou-se com esta pesquisa avaliar, por meio de dados de sensoriamento remoto, a expansão da atividade sucroalcooleira na bacia do Rio Capivara no sudoeste paulista de 1970 a 2010, e apresentar os desdobramentos sociais, econômicos e ambientais da adoção da colheita mecanizada sem a queima prévia da palha da cana-de-açúcar.

Para atender a esses objetivos, o trabalho está organizado em duas partes. A parte introdutória aborda sinteticamente alguns aspectos por meio de

levantamento bibliográfico e verificações de campo, a história da expansão canavieira na região da bacia do Rio Capivara; os fatores que levaram e estão levando a essa expansão e os aspectos socioeconômicos e ambientais que podem ser observados através das cartas temáticas de uso e ocupação do solo na região de estudo.

A segunda etapa do trabalho aborda os indicadores ambientais que podem ser verificados através dos resultados das análises dos atributos físicos do solo predominante da bacia, mostrando a situação ambiental atual e dados de compactação que se configuram como um dos indicadores de qualidade e sustentabilidade dos manejos adotados na bacia.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 HISTÓRICO DA CANA-DE-AÇÚCAR

De acordo com Machado (2007), a cana-de-açúcar chegou ao Brasil em 1500, junto com os portugueses, mas ganhou espaço como uma cultura efetivamente em 1532, principalmente nas Capitanias de Pernambuco e da Bahia, onde a planta espalhou-se em solo fértil, com ajuda do clima tropical, quente e úmido e da mão-de-obra escrava vinda da África. Após várias dificuldades, cerca de 50 anos depois, (1582 aproximadamente), o Brasil passou a monopolizar a produção mundial de açúcar.

No século XVIII, devido a conflitos externos, portugueses e holandeses se desentenderam. Isso desencadeou na colônia brasileira uma crise no mercado da cana-de-açúcar, pois os holandeses diminuíram sua dependência do açúcar brasileiro e iniciaram a produção açucareira no Caribe. Mais tarde os próprios ingleses e franceses fizeram o mesmo em suas colônias, acabando com o monopólio do açúcar brasileiro, assim findando o ciclo da cana-de-açúcar no Brasil colônia (LEÃO, 2002).

Inicia-se o Brasil Império e com ele o surgimento de novas tecnologias e em 1857 foi elaborado um programa de modernização da produção de açúcar, assim surgindo os engenhos centrais, cujo objetivo era somente moer a cana-de-açúcar e processar açúcar, ficando o cultivo por conta dos fornecedores. Mas o projeto não deu certo, devido à falta de conhecimento sobre os novos equipamentos e o interesse dos fornecedores da cana-de-açúcar (LEÃO, 2002).

Assim, a única saída encontrada pelos fornecedores dos equipamentos foi adquiri-los e montar suas próprias indústrias, nomeadas de “usinas de açúcar”, mas apesar da novidade, o Brasil estava muito atrás do resto do mundo, uma vez que o açúcar de beterraba ultrapassava 50% da produção mundial e abastecia toda a Europa (CAMARGO, 2008).

Já no fim do século XIX, o Brasil estava passando pela euforia do café, que se concentrava principalmente no interior do Estado de São Paulo. Em meio a isso tudo, inicia-se a 1ª Guerra Mundial em 1914, a qual destruiu totalmente a indústria de açúcar européia, provocando um aumento no preço do açúcar no mercado mundial, o que despertou interesse de muitos fazendeiros do café

(IGREJA, 2000). Estes, na busca para diversificar sua produção, passaram a investir em construção de novas usinas no país (LANZOTTI, 2000).

O ciclo econômico da cana-de-açúcar estendeu-se da faixa litorânea de São Paulo até o Nordeste e eram cultivadas em morros, beiras de rios e em planícies, privilegiando as áreas que facilitassem a exportação do açúcar, ou seja, próximo ao oceano.

Por questões lógicas o início da monocultura canavieira no Brasil ficou limitada a algumas regiões litorâneas ou próximas ao litoral. Isso se deu pelo fato de que naquela época os recursos tecnológicos, humanos e de logísticas para produção e exportação eram completamente limitados, além da dificuldade de exploração territorial para o preparo do plantio em regiões afastadas do litoral. Conforme Castro (1946 apud ADÃO, 2007), em favor da monocultura, grandes extensões de matas foram derrubadas e queimadas para o plantio, realizando o sistema *plantation*, no qual se usava mão-de-obra escrava. Inicialmente, utilizou-se mão-de-obra indígena, a qual, gradativamente, foi sendo substituída por escravos africanos.

Brandão (1985) especifica que outras capitanias receberam orientação para o cultivo da cana nos primeiros tempos de colonização, como a da Bahia, em 1538, e a de Alagoas, em 1575. Foi assim, o começo da agroindústria de cana-de-açúcar no Brasil. Depois de um início com muitas dificuldades e tentativas frustradas em várias regiões, devido a problemas com os indígenas e invasores, a cana-de-açúcar encontrando características climáticas favoráveis e solos férteis, expandiu-se rapidamente pelo Nordeste do país (Bahia, Piauí, Alagoas, Paraíba), de tal maneira que após dezessete anos já existiam 23 engenhos só em Pernambuco.

Todos esses fatos davam indícios de risco de superprodução, levando o governo Vargas a decidir por criar um órgão para controlar essa produção, ou seja, o IAA (Instituto de Açúcar e Alcool) (LEÃO, 2002).

Com a ocorrência da 2ª Guerra Mundial, surgiu o risco de desabastecimento dos Estados do Sul, devido à presença de submarinos alemães na costa brasileira. Foi quando as usinas paulistas reivindicaram o aumento da produção e desde esse momento os esforços da indústria açucareira brasileira se concentraram no aumento da capacidade produtiva. No entanto, o preço do açúcar no mercado mundial não parava de oscilar e as usinas estavam repletas de equipamentos obsoletos; então a Coopersucar foi a procura de novas tecnologias

para o setor. Outro fato importante foi o avanço biológico que possibilitava canas mais produtivas e resistentes a pragas e doenças (MACHADO, 2007).

Assim, foi se formando um cenário de novas tecnologias e remodelamento das usinas para maior produção, o que preparou o Brasil para enfrentar a crise do petróleo na década de 1970. O primeiro choque do petróleo ocorreu em setembro de 1973, quando o preço do barril subiu devido à possibilidade de desabastecimento energético e se estendeu até 1975 (RÍPOLI; RÍPOLI, 2009).

Nesta mesma época, ocorreu uma grave crise no mercado internacional do açúcar. Fatos que levaram à criação do Programa Nacional do Álcool – Proálcool, em 14 de novembro de 1975 pelo Decreto nº 76.593, com o objetivo de estimular a produção do álcool almejando principalmente diminuir a dependência externa de energia (MACEDO, 2005). E tendo como benefícios adicionais uma melhoria no balanço de pagamentos, redução das disparidades regionais de renda, expansão da produção de bens de capital, geração de empregos, modernização e ampliação das destilarias existentes, instalação de novas unidades produtoras e um grande avanço tecnológico (MACEDO, 2005).

Proálcool prestou uma grande contribuição ao desenvolvimento tecnológico do setor sucroalcooleiro. Em apenas 10 anos após sua criação a área plantada de cana-de-açúcar dobrou (Tabela 1). Seus dados refletem o histórico de produção de cana-de-açúcar para todos os fins, não apenas para processamento industrial nas usinas.

O Proálcool passou por duas fases distintas de implantação. Na primeira fase os esforços foram dirigidos, sobretudo, para a produção de álcool anidro para a mistura com gasolina, proporcionando a economia do petróleo importado. A segunda fase é marcada pelo segundo choque do petróleo (1979 a 1980) que triplicou o preço do barril do petróleo e as compras desse produto passaram a representar 46% da pauta de importações brasileiras em 1980. Isso levou o governo a incentivar a produção de álcool suficiente para abastecer os veículos movidos a álcool hidratado (RÍPOLI; RÍPOLI, 2009).

Tabela 1 – Evolução da área, produção e produtividade Brasileira da cana-de-açúcar de 1975 (ANO) à 2009.

ANO	ÁREA (MILHÕES DE HECTARES) ÁREA PLANTADA	PRODUÇÃO (MILHÕES DE TONELADAS)	PRODUTIVIDADE (t/ha)
1975	1,90	88,92	46,82
1976	2,08	102,77	49,43
1977	2,27	120,01	52,93
1978	2,39	129,06	54,04
1979	2,54	139,27	54,79
1980	2,61	146,23	56,09
1981	2,80	153,78	54,86
1982	3,08	186,38	60,47
1983	3,48	216,45	62,16
1984	3,86	241,39	62,55
1985	3,90	246,54	63,22
1986	3,95	238,49	60,44
1987	4,35	268,58	62,31
1988	4,15	258,45	62,78
1989	4,01	252,29	62,02
1990	4,29	262,60	61,49
1991	4,24	260,84	61,94
1992	4,20	271,43	64,61
1993	3,97	244,30	63,24
1994	4,36	292,07	67,23
1995	4,62	303,56	66,49
1996	4,90	325,93	67,52
1997	4,95	337,20	69,10
1998	5,00	338,97	68,18
1999	4,86	331,71	68,41
2000	4,82	325,33	67,51
2001	5,02	344,28	69,44
2002	5,21	363,72	71,31
2003	5,38	389,85	72,58
2004	5,57	416,26	73,88
2005	5,62	419,56	72,83
2006	7,04	457,98	74,05
2007	7,89	515,82	77,05
2008	8,92	589,22	77,52
2009	9,67	689,90	80,24

Fonte: Brasil, 2011 (apud THEODORO, 2011).

Por volta de 1978, a venda de veículos movidos a gasolina diminuiu significativamente e as pessoas passaram então, a comprar veículos movidos a álcool provocando uma produção em grande escala desse tipo de veículo; apesar dos problemas, como dificuldades de partida a frio e corrosão de peças e do motor. Mas essa agitação não durou muito, pois em 1980, devido a problemas de manutenção e a boatos que saíram na época de que a produção nacional de álcool combustível não seria suficiente para abastecer todos os veículos, levaram a um esfriamento das vendas resultando em praticamente nenhuma comercialização (LANZOTTI, 2000; MACEDO, 2005; RIPOLI; RIPOLI, 2009).

Porém, a partir de 1982, o governo passou a realizar investimentos que gerassem um aumento das vendas de veículos movidos a álcool, criando facilidades aos compradores como maior prazo de financiamento, taxas mais baixas de juros; abastecimento aos sábados e investimentos para melhorar a qualidade do motor a álcool (MACHADO, 2007; RÍPOLI; RIPOLI, 2009). Em 1986 houve uma reviravolta no cenário internacional do mercado petrolífero reduzindo bruscamente o preço do barril. Adicionado a isso, a oferta de álcool não pode acompanhar a demanda, o que gerou a crise de abastecimento da entressafra e tudo isso culminou com um período de escassez de recursos públicos para subsidiar os programas de estímulo aos energéticos alternativos. Fatos que colocaram em xeque o Proálcool que resultou em um significativo decréscimo da demanda e, conseqüentemente, das vendas de automóveis movidos por esse combustível.

A euforia no setor sucroalcooleiro baseia-se em expectativas internas e externas da demanda. Internamente, é fortemente impulsionada pelo intenso crescimento da demanda por veículos *flex-fuel*, que correspondem a 80% dos veículos licenciados no Brasil em 2007. Já externamente os principais fatores que conduzem a esse cenário são: a diminuição das exportações do açúcar da União Européia por determinação da Organização Mundial do Comércio (OMC); a escassez das reservas globais de petróleo que levam a elevação de seus preços; a possibilidade de exportar álcool para mercados dos EUA e China, que é impulsionada pela necessidade de produção de um combustível menos poluente e também devido aos custos da produção brasileira ser o menor na escala mundial (BRAY; FERREIRA; RUAS, 2000; LEÃO, 2002).

Todo esse quadro gerou muita expectativa que possibilitou um aumento dos investimentos nessa cultura por meio de um crescimento gradativo das áreas plantadas e da produção por área.

Novos rumos começavam a surgir a partir da concepção da necessidade não só alimentar, mas também energética. Assim o Brasil nesta época apresentou uma mudança dinâmica em suas várias estruturas, tanto políticas, tecnológicas, quanto sociais, visando dar os primeiros passos para diminuir sua dependência energética; com isso impulsionando a economia, levando ao crescimento não só da cultura da cana-de-açúcar como também de outras culturas.

2.1.1 A Ocupação do Oeste Paulista e o Cultivo da Cana-de-Açúcar no Estado de São Paulo

O processo de ocupação do Oeste Paulista remonta às expedições exploratórias e à fixação das missões jesuíticas no século XVII. No final do século XIX e início do XX, as incursões de mineiros e de desbravadores mato-grossenses deram origem aos primeiros povoados da região. Com a ampliação das áreas de plantio de café e a falta de mão de obra para a colheita e outros tratamentos com a terra, foram chegando os imigrantes estrangeiros: italianos, portugueses, alemães, franceses, ingleses e japoneses. Por último ocorreu acentuado movimento de imigração interna representada por nordestinos, mais precisamente por baianos (THEODORO, 2011).

Por volta de 1870, os planaltos e as florestas do oeste do estado de São Paulo constituíam vasto sertão, região mal conhecida, habitada, sobretudo, por índios e alguns sertanistas mais audazes (MONBEIG, 1984). O sertão ocidental estava alheio à economia da Província, mas, os fazendeiros, imbuídos, ao mesmo tempo do espírito desbravador e depredador dos bandeirantes, criaram condições de levar as futuras ferrovias até longínquas paragens.

No entanto, foi o avanço da plantação do café - ocasionado por interesses econômicos e a procura de novas terras - que provocou a transposição do escarpamento de basaltos e arenitos que limitam, a leste, os planaltos ocidentais, fazendo com que a ferrovia começasse a descer, lentamente, rumo ao Rio Paraná. À frente e ao lado da ferrovia, a marcha para o oeste, considerada nas suas relações com o solo não aparece como uma conquista valiosa, mas uma devastação sem

freio, pois a forma apressada de fazer fortuna, mais importante que o interesse pela posse da terra e a fascinação pelas vastas extensões de espaços verdes, empurrava, cada vez mais, os pioneiros no sentido ocidental.

Levado por fatores como a fertilidade ou o esgotamento do solo ou ainda o alto rendimento que a agricultura, notadamente o café, proporcionou no final do século XIX, o avanço da ocupação do solo, empreendido em direção ao ocidente no estado de São Paulo, teve ainda como agente propulsor a influencia das diferentes crises e retomadas econômicas que atingiram o referido cultivo, definiram os mecanismos da marcha para o oeste no final do século passado e início deste século (THEODORO, 2011).

Neste avanço da ocupação no estado de São Paulo, a estrada de ferro sempre acompanhou de perto a interiorização das frentes de colonização que se faziam principalmente sobre as manchas de terra roxa (MONBEIG, 1984).

Assim a marcha pioneira, além da terra roxa, levava o pioneiro a instalar-se em estreitas faixas de terras boas, nos espigões, mas que eram envolvidas por solos medíocres, apropriados para a criação de gado. Um outro ramo da ferrovia a avançar até o estado de Mato Grosso, nesta mesma época, foi a estrada de ferro Sorocabana que depois das manchas de terra roxa, próximas a Assis, ocupou também os espigões.

Somente após 1930, é que o espigão entre os rios Aguapeí e Peixe começa a ser conquistado pela ocupação da frente cafeeira. Desta forma, o incremento decisivo dos pioneiros na ocupação do Oeste Paulista deu-se na década de 1920 e foi marcada pela expansão da estrada de ferro, que se constituiu no elemento decisivo para a ocupação da região (THEODORO, 2011).

No Oeste Paulista, o café se estabeleceu concomitante à implantação das estradas de ferro, impondo significativa pressão sobre áreas de matas primitivas. Assim, de uma forma indiscriminada, imediatista e em larga escala, processou-se a destruição da cobertura vegetal primitiva do extremo oeste do estado, e os solos foram intensamente ocupados por culturas pioneiras de café, que cederam a vez ao algodão, ao amendoim, à menta, à cana de açúcar, aos campos de pastagem, etc.

No estado de São Paulo, a produção de cana teve seu início em 1532, com a construção do Engenho dos Erasmos, do então governador geral, Martin Afonso de Souza, sendo este o primeiro engenho brasileiro, na capitania de

São Vicente (PETRONE, 1968). De acordo com Ferlini (1989), a exploração açucareira se articulava em três setores: produção de cana, fabricação do açúcar e sua exportação. O engenho, que no início se restringia às instalações para a fabricação do açúcar, com o passar do tempo passava a englobar toda a propriedade da fazenda, e naquela época um senhor de engenho era quase como um título de nobreza.

No fim do século XVIII e na primeira metade do século XIX, os centros produtores de açúcar e aguardente em São Paulo, localizavam-se em duas áreas distintas: a que se estende ao longo do caminho para o Rio de Janeiro e a que compreende o quadrilátero formado por Sorocaba, Piracicaba, Mogiguaçú e Jundiaí. Esse quadrilátero produzia, em 1797, 83.435 arrobas de açúcar para exportação, podendo ser destacado como principais regiões produtoras, Itu e Campinas, onde havia mais de cem engenhos (PETRONE, 1968).

Com o decorrer do tempo, a cana trouxe para as regiões produtoras o desenvolvimento, não só industrial, mas também sócio-econômico e técnico e fez com que o homem do campo deixasse o seu trabalho como agricultor procurando uma melhoria de vida em outros setores da economia. Isso somado ao aumento da produtividade agrícola e industrial das usinas, provocou uma carência de mão-de-obra e aumento do seu custo, o que contribuiu para o aumento da mecanização e modernização da indústria (FERREIRA; ALVES, 2009).

A questão da ampliação das áreas canavieiras tradicionais do Estado de São Paulo, como também o agrupamento de novas áreas no oeste paulista envolveram políticas agrícolas e agro-industriais do Instituto do Açúcar e do Álcool (IAA), Programa Nacional do Álcool (PROÁLCOOL) e o Plano de Desenvolvimento do Oeste do estado de São Paulo - PRÓ-OESTE (SÃO PAULO, 1980), por meio do Programa de Expansão da Canavicultura para produção de Combustível do Estado de São Paulo (PROCANA). Estabeleceu-se então, a segunda fase do PROÁLCOOL (BRAY, 1980; SÃO PAULO, 1980).

Dentro desse novo contexto o Plano Nacional do Álcool (PROÁLCOOL), a produção nacional passaria de 3 bilhões de litros em 1980, para 10 bilhões de litros em 1985. O Estado de São Paulo, como o principal centro alcooleiro nacional, passou a se preocupar com a expansão concentradora da agricultura canvieira no território paulista, principalmente nas tradicionais áreas açucareiras e alcooleiras do leste (BRAY, 1980; SÃO PAULO, 1980).

Assim, o governo de São Paulo, no ano de 1980, criou o PRÓ-OESTE, programa denominado “Bases para um Plano de Desenvolvimento do Oeste do Estado de São Paulo – PRÓ-OESTE”, desenvolvido pela Secretaria da Agricultura e Abastecimento, tendo como meta básica alcançar “o equilíbrio econômico regional” (SÃO PAULO, 1980). Dentro deste programa, as ações foram voltadas ao setor canavieiro denominado PROCANA.

Com a elaboração de um plano a favor da região Oeste Paulista, a Secretaria da Agricultura pretendeu atingir os seguintes objetivos:

- aproveitamento da infraestrutura existente, sem necessidade de investimentos públicos adicionais para a sua consecução;
- inversão migratória, face à criação de empregos diretos e indiretos necessários à consolidação do programa;
- interiorização do desenvolvimento pelo fortalecimento das economias regionais;
- preservação e ampliação da oferta de alimentos, bem como manutenção da expressiva participação do setor agropecuário paulista na pauta de exportação (SÃO PAULO, 1980).

O discurso do Programa de Expansão da Canavicultura para a Produção de Combustível (PROCANA) dentro do PRO-OESTE (SÃO PAULO, 1980; p. 3) foi o seguinte:

A Secretaria da Agricultura e Abastecimento, preocupada com a possibilidade de expansão desordenada da cultura de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo e a consequente ocupação das terras utilizadas para a produção de alimentos, resolveu promover ação visando orientar a instalação daquela cultura destinada à produção de álcool em regiões onde a cana-de-açúcar representará a melhor opção para a sua expansão no Estado de São Paulo.

Neste contexto das políticas estatais de modernização e expansão da agroindústria açucareira nacional e principalmente do Estado de São Paulo, pode-se avaliar o domínio da cultura canavieira, mas principalmente a produção alcooleira no território paulista.

Conforme dados do Instituto de Economia Agrícola - IEA (2011) em relação à área total do Brasil, o estado de São Paulo se destaca como o maior produtor, cuja área representa 54,23% (4.357,01 mil hectares) (SIQUEIRA; REIS, 2008). Portanto, de acordo com o MBF AGRIBUSINESS (2011), o estado de São Paulo passa a ser considerado o maior produtor de cana do Brasil.

2.1.2 Cultivo da Cana-de-Açúcar na Bacia Hidrográfica do Rio Capivara

A colonização das regiões pertencentes à bacia do Rio Capivara foi realizada por meio da venda de terras por desbravadores que chegaram à região no início do século XX (BRAY, 1980). As terras, ocupadas pelos índios Kaingang, foram divididas em glebas e vendidas a outros desbravadores.

José Teodoro de Souza, mineiro de Pouso Alegre, em expedição pelo interior de São Paulo desde 1854, chegou em 1885 nessa região, conhecida como Sertão do Paranapanema. Nessa época, José Teodoro já havia registrado o título de ocupação dessa área, limitada pelo rio Paranapanema, pelo seu espigão com o rio do Peixe, pelo rio Turvo e pelo rio Figueira. Para tanto, usou o artifício do Decreto nº 1.318 de 1854, regulamentado pela Lei de Terras nº 601/1850 (BRAY, 1980).

Em 1914, chega a Estrada de Ferro Sorocabana, grande responsável pelo desenvolvimento do povoado, que abriu caminhos para a chegada do café, o que fez das cidades da região ponto de convergência de toda a região oeste do estado de São Paulo e base de operação para a colonização do norte do Paraná (BRAY, 1980).

A região participou de uma devastação desenfreada de suas florestas, que desde a segunda metade do século XIX tomou conta do estado, porquanto o avanço cafeeiro se fazia à procura de solos novos (BRAY, 1980).

A ocupação da região ocorreu através da cultura cafeeira que assumiu papel preponderante na organização do espaço regional. É perceptível tal fato, na medida em que o avanço da cafeicultura é seguido pelo sistema viário, caracteristicamente ferroviário tornando viável a expansão da fronteira agrícola (BRAY, 1980; SIQUEIRA; REIS, 2008).

Em 1908, as linhas de penetração do sistema ferroviário atingiram a área onde se localiza atualmente o município de Ourinhos, com a chegada da Estrada de Ferro Sorocabana. A partir desta época estenderam-se as linhas em direção ao rio Paraná, seguindo os espigões do interflúvio dos rios Paranapanema e do Peixe. A implantação da lavoura de café e a alocação da população exigiam a produção de alimentos abrindo perspectivas para as áreas produtoras, principalmente, quando se associavam certas vantagens para que os colonos

pudessem produzir alimentos de subsistência, paralelamente ao cultivo das culturas principais (BRAY, 1980).

Ainda segundo Bray (1980) até a última década do século XIX o vale do Paranapanema apresentava vegetação quase intocada com exceção de algumas áreas destinadas a agricultura de coivara para subsistência da população indígena local, mas a ação predatória do colonizador, somada à ideia desenvolvimentista adotada nesse período com abertura de campos para pastagem, avanço da monocultura (a princípio do café, e posteriormente da soja, do trigo, da cana-de-açúcar e alcooleira), entre outras benfeitorias, levaram a região a sua condição atual.

Mostrou também o impacto causado com o advento da modernização na agricultura ocorrida entre os primeiros 50 anos após o surgimento da província de Assis (1913), principalmente durante o governo Jorge Tibiriçá que implantou a utilização de novos instrumentos aratórios, os quais substituíram a agricultura familiar “rotineira, atrasada, tradicional” levando a ocupação de mata nativa por áreas de plantio.

No transcorrer da história, as alterações do processo biofísico se intensificaram entre os anos de 1960 a meados de 1970 quando a região viu-se em um cenário favorável de crescimento da economia. A microrregião transformou-se no maior produtor de soja estadual, detendo 90% da produção possibilitando o município receber maior financiamento governamental, o que estimulou o crescimento da parcela de terras destinadas ao plantio, acarretando no aumento da derrubada de mata nativa que abriu espaço para a prosperidade da soja e do trigo.

Em 1975 o desmatamento na mata nativa ocasionado pelo emprego das atividades econômicas, já havia alterado grande parte do cenário que os colonizadores aqui encontraram. Foi de grande importância também a opção energética adotada pelo Brasil nesse momento, por meio do programa governamental de incentivo à implantação de destilarias de álcool, o Proálcool. Ocorreram a partir daí intensas mudanças na estrutura florestal com a consequente diminuição da variedade dos biomas, ou seja, áreas de campo, cerrado e cerradão (BRAY, 1980; BRAY; FERREIRA; RUAS, 2000).

O período de 1960/70 caracterizou-se por uma grande diversificação na base agrícola, devido à erradicação do café. Essa diversificação se deu em favor das oleaginosas (amendoim, girassol, mamona e soja), cereais (arroz, feijão, milho e trigo), algodão e cana para indústria que vieram a concorrer com relativas

vantagens, pela disponibilidade de terras férteis e de baixo preço, com outros estados. A proximidade das terras férteis do norte do Paraná e o avanço das frentes pioneiras, derrubando matas virgens mais para o oeste da área em questão pode, explicar o comportamento da população nesta área. Ela agiu como grande eixo de penetração em direção a Araçatuba, Presidente Prudente e ao norte do Paraná, mas o reflexo desse papel, em termos de concentração de população, não se mostrou tão dinâmico como em outras regiões paulistas (BRAY, 1980).

A crescente demanda por produtos sucroalcooleiros, com grande demanda nacional e internacional por açúcar e álcool, ocasionou uma intensa busca por áreas aptas para o cultivo da cana, fato que estimulou novos investimentos no oeste paulista (SIQUEIRA; REIS, 2008). Assim, o Vale do Paranapanema no Planalto Ocidental Paulista aumentou nos últimos 30 anos seu pólo sucroalcooleiro, por serem consideradas as últimas grandes regiões do estado de São Paulo com solo, clima e relevo favorável para essa expansão, sendo assim, a região passou a ser vista como o futuro da agroindústria sucroenergética. Assim sendo, a pecuária cedeu áreas para o cultivo da cana-de-açúcar (para fins industriais) a partir do ano 2000 (RÍPOLI; RIPOLI, 2009).

Tavares, Mateus e Veiga Filho (2007) preconizou que das 72 novas usinas a serem instaladas no país nos próximos anos, 44 se localizariam nessa região, pois seriam beneficiadas pela proximidade dos portos e centros consumidores, além da disponibilidade de terras favoráveis para o plantio da cana-de-açúcar

Utilizando dados da época, do Centro de Tecnologia Canavieira (CTC) e da União dos Produtores de Bioenergia (UDOP); Camargo et al. (2008) verificaram que das 61 novas unidades industriais, algumas já em operação e outras ainda em fase de implantação no estado de São Paulo, a maioria ficou concentrada na região oeste.

A crise na pecuária e o avanço da indústria canavieira foi induzindo o produtor a mudar de atividade, principalmente pecuaristas que não estavam trabalhando de forma mais racional, tanto técnica quanto economicamente. Segundo a União dos Produtores de Bioenergia (UDOP, 2011), essa região passou a ser vista como o futuro da agroindústria sucroalcooleira. A grande demanda nacional e internacional por açúcar e álcool estimulou novos investimentos no oeste paulista (FERREIRA; ALVES, 2009). Os investimentos para a implantação de usinas na

região foram da ordem de US\$ 6,3 bilhões (cerca de R\$ 14 bilhões), e o potencial de geração de empregos nos 287 municípios que a compõem foi de 165 mil postos, entre diretos e indiretos (TAVARES; MATEUS; VEIGA FILHO, 2007).

Na região oeste paulista (Paraguaçu Paulista e Região), o valor do arrendamento de terras para cultivo da cana-de-açúcar é muito significativo. Os proprietários entregam suas terras em arrendamento para cultivo de cana, tendo assim, um melhor rendimento do que outro tipo de cultura, passando a receber o valor de 13% a 18% da produção média da região. No custo total de implantação da cultura (R\$4.000,00/ha), o valor de arrendamento (R\$894,00/ha), que representa 22% do custo de formação, corresponde a 15,28 ton/ha⁻¹ (FAZENDA RANCHO ALEGRE, 2011). Devido ao bom preço da tonelada de cana-de-açúcar pago aos produtores, bem como a crise na pecuária, gerou certa euforia entre os proprietários para mudar de atividade ou até mesmo arrendar suas terras para terceiros, já que a rentabilidade se mostrava satisfatória.

Como relatado anteriormente, a cana-de-açúcar desloca a pecuária para outras regiões, o que provoca o desmatamento por meio de novas ocupações. Na visão de Sparovek Maule e Burg (2008) um dos fatores esperados para a expansão da cana-de-açúcar é a continuidade no deslocamento da pecuária na área de expansão. O autor ainda salienta que São Paulo e região Centro-Sul são as indicadas para futuras expansões devido às condições já mencionadas além do mercado potencial para co-geração de energia elétrica.

Nestas fronteiras estão as maiores áreas de pastagens do Brasil, o suficiente para que não só o setor canavieiro, mas também outros setores agrícolas se expandam. É importante a previsão de como a expansão da cana-de-açúcar irá interagir com a pecuária (deslocando, competindo, coexistindo, integrando), pois isto pode influenciar nos impactos sobre o meio ambiente.

De acordo com Sparovek Maule e Burg (2008) a coexistência da agricultura, principalmente a cana-de-açúcar, com a pecuária não ocorre. A principal razão para isso é que com as terras valorizadas e a possibilidade de produção agrícola intensiva mais eminente (maior rentabilidade), o custo de arrendamento se eleva, deslocando os pequenos arrendatários para regiões mais favoráveis, com menor custo de arrendamento. Os grandes produtores são atraídos para vender suas terras e transferir seus negócios para regiões mais remotas em que há real possibilidade de expansão da produção, preservando seu caráter extensivo.

Os fatores que elevam o valor destas áreas de pastagens se dão principalmente pela proximidade com os polos industriais, infraestrutura e outras condições que atendam as aptidões desejadas para a expansão da cana-de-açúcar. Todo este panorama, além de causar o desmatamento de outras regiões devido ao deslocamento da pecuária, também pode causar a concentração fundiária.

2.1.3 Fatores que Influenciaram a Expansão Canavieira no Brasil

É histórico o fato de que o setor sucroalcooleiro tem passado por altos e baixos, influenciado pelo mercado do açúcar antes do Proálcool e após o mesmo, caracterizando assim oscilações na área de plantio da cana-de-açúcar e o próprio mercado.

Segundo Sousa (2006) e Veiga Filho, Fronzaglia e Torquato (2008), o setor sucroalcooleiro, depois de ter passado pela crise de 1999/2000, representada pelos baixos preços do álcool carburante para os produtores e por um expressivo excedente do produto no mercado, conseguiu acumular condições suficientes para o seu crescimento até 2007. Paralelo a isso o açúcar brasileiro também apresentou um forte crescimento pela sua valorização, o que provocou um aumento de 4,44% na área colhida de cana-de-açúcar nesta época, com perspectivas de aumento para os próximos anos. O maior crescimento foi no estado de São Paulo, com taxa de 4,83% ao ano, onde se concentra o maior pólo agrícola e industrial do setor (THEODORO, 2011).

Na visão de Sousa (2006) e Veiga Filho, Fronzaglia e Torquato (2008), os principais fatores que contribuíram e irão contribuir para essa expansão são:

- a. incentivo a compra de carro a álcool em função da isenção do Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores (IPVA);
- b. mudança da política governamental intervencionista visando ao aumento da competitividade do álcool frente a gasolina;
- c. liberação das exportações de açúcar com bom preço no mercado.
- d. aumento do preço do petróleo;
- e. introdução dos veículos *flex fuel*, a partir de 2003;
- f. aumento na exportação do etanol para ser adicionado a gasolina em função do preço do petróleo e efeito estufa;
- g. aumento do consumo de açúcar no mercado interno e externo principalmente;
- h. diminuição do subsídio aos produtores de beterraba;
- i. entrada de capital estrangeiro no setor.

Pode-se mencionar também a grande valorização dos produtos derivados de cana-de-açúcar frente a outros produtos agrícolas, aproveitamento na integra da matéria prima, além do baixo custo da produção do álcool e açúcar, comparado com produtos similares de outras fontes.

O resultado desse panorama de expansão vai se refletir na instalação e expansão de novas unidades industriais no estado de São Paulo. A principal frente de expansão desse processo dá-se no noroeste do estado, com expectativa de instalação de novas unidades principalmente para a região Centro-Sul do Brasil (VEIGA FILHO; FRONZAGLIA; TORQUATO 2008).

De acordo com o Sindicato Rural da Alta Noroeste – SIRAN (2009), o Zoneamento Agro Ecológico da cana-de-açúcar anunciado em 17 de setembro de 2009 pelo governo federal, Decreto nº 6961, proibiu o plantio de canaviais em determinadas áreas do país.

O objetivo do Decreto foi de limitar a expansão desenfreada de monoculturas em determinados espaços territoriais. Os biomas Amazônia e Pantanal estão incluídos nessa proibição. De acordo com o Zoneamento Agro Ecológico, as áreas proibitivas somadas a aquelas não indicadas para o plantio de cana-de-açúcar alcançam 92,5% do território brasileiro, restando 7,5% do território nacional, o que eleva de 8 milhões para 64 milhões de hectares o estoque de terras aptas para o plantio de cana-de-açúcar.

Vale lembrar que qualquer atividade que necessite de algum tipo de desmatamento seja em qualquer tipo de bioma, obrigatoriamente deve obter previamente o licenciamento. SIRAN (2009) alega que 50 milhões de hectares de pastagens degradadas ou subutilizadas poderiam ser aproveitadas para a agricultura. Se essas terras desmatadas fossem recuperadas, o país poderia dobrar sua produção agrícola sem derrubar nenhuma árvore.

O Brasil tem potencial para que a expansão da cana-de-açúcar ocorra sem que haja desmatamento, mas os mais otimistas com relação a isso não de convir que apenas a disponibilidade de terras para o cultivo da cana-de-açúcar não basta, pois várias barreiras impedem que isso ocorra (THEODORO, 2011), entre as principais delas estão:

- a. recuperação do solo degradado pelas pastagens;
- b. aperfeiçoamento ou criação de infra-estrutura local;
- c. falta de incentivos governamentais;
- d. mão de obra local;
- e. falta de interesse por parte do setor industrial devidos aos gastos nos investimentos.

A tendência para o futuro é que gradativamente o setor sucroalcooleiro, quebre essas barreiras, se não por consciência ecológica, mas por necessidade, devido a algumas regiões do bioma já estarem sobrecarregadas, como é o caso do estado de São Paulo, maior centro sucroalcooleiro, com 194 unidades em funcionamento e 12 unidades em fase de instalação (UDOP, 2011, BRASIL, 2011a). Verifica-se, com isso, que no atual momento não há grandes interesses por parte dos empresários de investirem em locais sem os requisitos necessários.

2.2 A AGROINDÚSTRIA CANAVIEIRA E O MEIO AMBIENTE

A agroindústria canavieira no passado foi responsável por impactos ambientais, eliminação das pequenas e médias propriedades agrícolas e aumento do êxodo rural. Atualmente, do ponto de vista ambiental, houve uma melhora significativa relacionada à maneira de produção da cana-de-açúcar e à emissão de poluentes no ar (IGREJA, 2000; CAMARGO et al., 2008).

Hoje, utiliza-se uma menor quantidade de herbicidas e pesticidas devido ao uso do controle biológico de pragas, diminuição do uso dos fertilizantes com a reciclagem da vinhaça, matéria orgânica e torta de filtro e em relação à qualidade do ar, a emissão de CO₂ é reduzida com a adoção de carros a álcool e o uso do bagaço para co-geração de eletricidade (ROSSETO, 2004).

O crescimento da agroindústria canavieira tem impactos positivos e negativos em toda a cadeia produtiva do açúcar e do álcool, e sua sustentabilidade tem sido amplamente analisada. No que se refere aos impactos sobre o meio ambiente, citam-se os efeitos sobre a qualidade do ar nas áreas urbanas e rurais, sobre o clima global, sobre a oferta de água, ocupação e preservação do solo, emprego de agrotóxicos e fertilizantes (MORAES, 2007).

A UNICA (União das Indústrias de cana-de-açúcar), representando as indústrias paulistas produtoras de açúcar, etanol e bioeletricidade e o governo do estado de São Paulo, assinaram, no dia 4 de junho de 2007, o Protocolo

Agroambiental do Setor Sucroalcooleiro. Esse Protocolo, de adesão voluntária, estabeleceu uma série de princípios e diretrizes técnicas, de natureza ambiental, a serem observadas pelas indústrias da cana-de-açúcar (UNICA, 2007).

Entre as diversas diretrizes, se destaca aquela que antecipa os prazos legais para o fim da colheita da cana-de-açúcar com o uso prévio do fogo nas áreas cultivadas pelas usinas, onde as áreas de expansão após o pacto não mais realizarão queima da palha. Essa prática agrícola, denominada “queima controlada da palha da cana” é necessária para a sua colheita manual, sem o emprego de máquinas, até a eliminação gradual do trabalhador braçal.

Em fevereiro de 2008, a Secretaria Estadual do Meio Ambiente do Estado de São Paulo informava que 141 indústrias de açúcar e etanol já haviam aderido ao Protocolo, recebendo o respectivo “Certificado de Conformidade Agroambiental”. Essas adesões correspondem a mais de 90% do total de cana produzida no território paulista (UDOP, 2011).

Além da queima controlada da palha da cana, o Protocolo dispõe sobre outros temas de enorme relevância, como: conservação do solo e dos recursos hídricos, proteção de matas ciliares, recuperação de nascentes, redução de emissões atmosféricas e cuidados no uso de defensivos agrícolas (UDOP, 2011, UNICA, 2007).

A questão ambiental representa uma ameaça ao setor sucroalcooleiro, pois apesar dessa cultura possuir uma grande biomassa capturando o gás carbônico do ambiente, ao realizar a queima da palha ela acaba devolvendo ao ambiente o gás carbônico que absorveu (GOLDEMBERG, 2009). No entanto, esta questão pode ser contornada através da eliminação da queima da palha.

De acordo com os dados apresentados por Meneguello e Castro (2007), a análise de fluxo de gases de efeito estufa na produção e processamento da cana-de-açúcar obedece a quatro diferentes aspectos:

- a) emissões associadas à fixação de carbono atmosférico por fotossíntese. No relato do autor esta fixação é neutralizada, pois o carbono fixado é neutralizado devido a sua oxidação dentro do ciclo de produção e utilização dos produtos da cana-de-açúcar. Ou seja, o dióxido de carbono volta para a atmosfera pela queima do bagaço e do etanol, sendo este balanço neutro;
- b) fluxos associados aos usos de combustíveis fósseis para a produção de toda base de produção de cana-de-açúcar e etanol; como exemplo insumos agrícolas, equipamentos industriais, construções civis, etc. Este balanço é negativo pois contribui para aumento das emissões;
- c) fluxos não relacionados ao uso de combustíveis fósseis como metano e óxido nitroso (N₂O) que são produzidos ao longo do processamento sucroalcooleiro, este fluxo é pouco expressivo para o efeito estufa;
- d) fluxos chamados virtuais, que correspondem às emissões de gases do efeito estufa que ocorreriam, na ausência de etanol e do bagaço excedente em substituição à gasolina automotiva e ao óleo combustível. Esses fluxos são positivos.

Meneguello e Castro (2007) considera que no setor da agroindústria canavieira apenas de todo carbono retirado da atmosfera na fase de crescimento da cana retornar para a atmosfera, ela contribui para a redução dos gases de efeito estufa, pelas emissões evitadas, pois os produtos energéticos da cana-de-açúcar (etanol e bagaço excedente) substituem combustíveis fósseis e gás natural que são emissores destes gases impedindo que novas emissões ocorram para a atmosfera.

De acordo com Lima (1999 apud CAMPOS, 2003) existem muitas incertezas nas estimativas das emissões de gases de efeito estufa provenientes da atividade canavieira no Brasil. Os autores revelam que em muitos estudos não são computados o dióxido de carbono emitido pelo solo devido ao manejo para o plantio, Os autores relatam também que é difícil quantificar as queimadas provenientes do setor canavieiro, na qual representa uma quantidade relevante de gases para os estudos de emissões. Campos (2003) especifica que a eliminação da queima da cana-de-açúcar para o corte manual representaria um importante passo para mitigação de gases de efeito estufa.

Meneguello e Castro (2007) indicam que várias medidas ainda podem ser tomadas para que haja uma melhor mitigação de emissão de dióxido de carbono, entre elas as principais são: aumento da biomassa por meio da eliminação da queima da cana-de-açúcar e implantação de equipamentos mais modernos para a co-geração de energia elétrica aproveitando melhor a biomassa. Assim sendo a energia térmica gasta na queima da cana-de-açúcar que libera dióxido de carbono

para atmosfera seria direcionada para obtenção de energia elétrica por meio da queima da palha em caldeiras.

Fator muito relevante que contribuirá para a diminuição das queimadas nos canaviais é a mecanização, pois a extinção da queima nas áreas mecanizáveis, em que a meta antes prevista para 2021, passou para 2014 e nas áreas não mecanizáveis, ela passou de 2031 para 2017, sendo necessário somente à queima nos locais que a plantação apresentar relevos onde as máquinas não poderão operar (UDOP, 2011).

Segundo estudos de Panosso et al. (2008), sob diversos pontos de vista, o etanol brasileiro de cana-de-açúcar é produzido de maneira sustentável, nos aspectos sociais, econômicos e ambientais, representando atualmente a melhor e mais avançada opção existente no mundo para produção de biocombustíveis em larga escala, lançando mão de melhores práticas agrícolas e ambientais, tais como:

- **Consumo de Fertilizantes:** a utilização de fertilizantes na cultura de cana-de-açúcar no Brasil é baixa (aproximadamente 450 a 500 Kg por hectare). Isto se deve principalmente à utilização de resíduos industriais da produção do etanol e açúcar, como a vinhaça e a torta de filtro, como fertilizantes orgânicos. Além disso, o uso da palha da cana deixada sobre o solo após a colheita (palhiço), principalmente nas áreas mecanizadas, vem a otimizar todo este processo em termos de reciclagem de nutrientes e proteção do solo.
- **Consumo de Defensivos:** o uso de inseticidas na cana-de-açúcar no Brasil é baixo e o de fungicidas é praticamente nulo. As principais pragas da cana são combatidas através do controle biológico de pragas e com a seleção de variedades resistentes, em grandes programas de melhoramento genético.
- **Perdas de Solo:** a cultura da cana no Brasil é reconhecida hoje por apresentar relativamente pequena perda de solo por erosão (cerca de $12,4 \text{ Mg ha}^{-1}$). Esta situação continua melhorando com o aumento da colheita sem queima da palha de cana e com técnicas de preparo reduzido, levando a perdas e valores muito baixos, comparáveis ao plantio direto em culturas anuais.
- **Uso da Água:** a cana-de-açúcar no Brasil praticamente não é irrigada. As necessidades hídricas, na fase agrícola, são sanadas naturalmente pelo regime de chuvas das regiões produtoras, principalmente no centro-sul do país, e complementadas pela aplicação da vinhaça (subproduto da produção do etanol que é rica em água e nutrientes orgânicos) em processo chamado de fertirrigação. Os níveis de captação e lançamento de água para uso industrial têm sido reduzidos substancialmente nos últimos anos, de cerca de 5 metros cúbicos por tonelada para cerca de 1 metro cúbico por tonelada processada, com tendência a eliminação total.
- **Autossuficiência energética:** toda energia utilizada no processo industrial da produção de etanol e açúcar no Brasil é gerada dentro das próprias usinas a partir da queima do bagaço da cana. Este processo, chamado de co-geração, consiste na produção simultânea de energia térmica e energia elétrica a partir do uso de biomassa, capaz de suprir as necessidades da usina e prover energia excedente para a rede pública.

Quanto ao tratamento e destino da água utilizada pela maior parte das usinas, estes podem ser divididos em três tipos: (i) tratamento da água de lavagem de cana, que geralmente se junta às demais águas de limpeza da indústria. Esta água é tratada em tanques e lagoas de decantação, em um circuito semi-fechado no qual se recicla 2/3 do total, havendo, portanto captação e devolução constantes. O lodo das lagoas é utilizado na fertilização das lavouras assim como a fração mais suja desta água; (ii) tratamento da água captada pelo uso nas caldeiras, sendo a água clarificada geralmente por floculação com sulfato de alumínio e soda cáustica abrandada com uma resina especial e tem o pH regulado para um melhor

desempenho na produção de vapor nas caldeiras; (iii) tratamento da água utilizada para o resfriamento nas usinas, que sai aquecida e é refrigerada em sistemas de troca de calor com o ar por aspersão e descanso, sendo totalmente reutilizada e por fim, adoção de sistemas do qual a limpeza da cana cortada mecanicamente é feita por jatos de ar, dispensando assim, o uso da água para a lavagem da cana queimada oriunda do campo.

Assim sendo, com toda esta tecnologia sustentável do setor, a recuperação das áreas de pastagens degradadas para o plantio da cana-de-açúcar apesar de representar certo custo, seria de fundamental importância devido principalmente ao fato de preservar a vegetação nativa e também devido ao seu menor balanço de assimilação de dióxido de carbono comparado com a vegetação nativa.

2.2.1 Subprodutos da Cana-de-Açúcar

De acordo com Veiga Filho, Fronzaglia e Torquato (2008), produtos derivados da cana-de-açúcar já são a segunda maior fonte de energia do Brasil. Segundo o autor, 16% do total de energia consumido no País são de produtos derivados da cana-de-açúcar, superando a energia hidráulica e ficando atrás somente do petróleo.

Os subprodutos da cana ganham a atenção do mercado e chegam até mesmo a ameaçar a importância dos produtos principais, o açúcar e o álcool. (UDOP, 2011). A energia co-gerada a partir da queima do bagaço de cana é vista como alternativa à ameaça de desabastecimento e atrai o interesse de distribuidores internacionais. Já os resíduos de produção - como a vinhaça e a torta de filtro - têm sido cada vez mais utilizados como fertilizantes com bons resultados para a agricultura (CERRI et al., 2007; RUDORFF et al., 2010; PIACENTE, 2005).

As vantagens nutricionais da vinhaça e da torta de filtro são conhecidas há várias décadas e algumas unidades de produção já os utilizam desde a década de 1970, mas o uso destes subprodutos aumentou sensivelmente em 1999, quando houve a mudança cambial e os adubos químicos encareceram (PIACENTE, 2005).

Pesquisas em usinas da região de Ribeirão Preto apontam que as diferentes técnicas de substituição de adubos químicos proporcionam uma economia

média de US\$ 60 por hectare (FRAVET et al., 2010). Além da redução nos custos de plantio, o aproveitamento dos resíduos foi responsável por reduzir a poluição ambiental, já que os produtos eram anteriormente despejados nos rios.

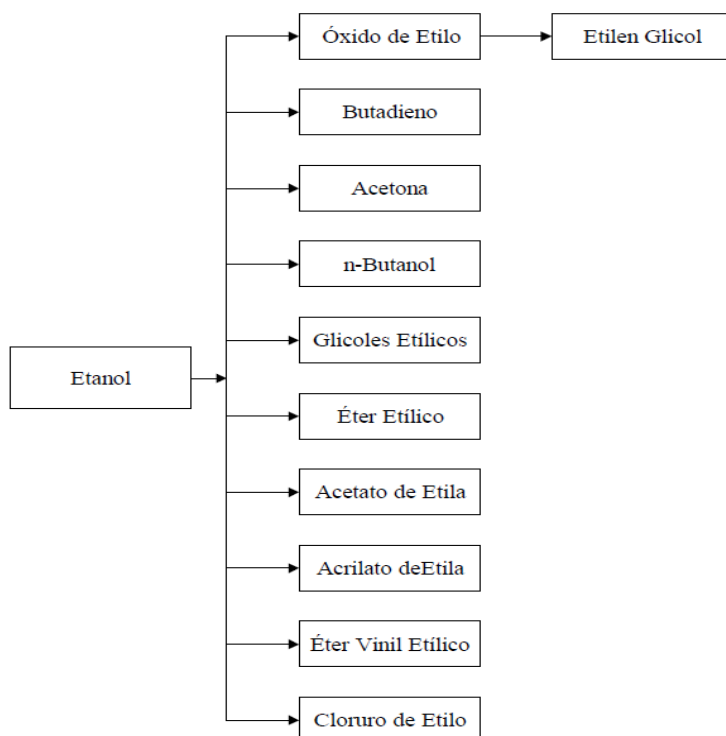
Mas entre os subprodutos da cana, o que tem recebido maior atenção nos últimos anos é o bagaço, principalmente devido à sua utilização como fonte de energia (CERRI et al., 2007; MACEDO, 2005). As usinas são autossuficientes na geração de energia e muitas têm feito investimentos para fornecer o excedente para distribuidoras. A maior compradora atualmente é a Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL), pioneira na utilização da biomassa (MACEDO, 2005).

2.2.2 Álcool Etilico (C_2H_5OH)

A produção de etanol este ano de 2011, totalizou 383,80 milhões de litros, sendo 99,60 milhões de etanol anidro e 284,20 milhões de hidratado (UNICA, 2011). No acumulado desde o início da safra até o final de novembro de 2011, a produção de etanol atingiu 20,38 bilhões de litros, sendo 7,89 bilhões de litros de etanol anidro e 12,49 bilhões de litros de hidratado.

Também é conhecido como etanol, metilcarbinol ou álcool de cana. É um líquido incolor, transparente, volátil e miscível na água e em diferentes líquidos orgânicos e normalmente é comercializado na forma hidratada (95 – 96%) ou anidra (maior que 99%) (LANZOTTI, 2000). Além de ser usado como combustível, o álcool pode ser usado como antisséptico, solvente, agente preservante e precipitador, óleos essenciais, drogas, ceras, elaboração de bebidas alcoólicas entre outros (UNICA, 2011).

Figura 1 – Derivados do etanol



Fonte: Lanzotti, 2000.

2.2.3 Açúcar

Segundo a UNICA (2011), até o final de novembro de 2011, a moagem de cana-de-açúcar pelas unidades produtoras da região Centro-Sul do País atingiu 488,46 milhões de toneladas, queda de 10,23% em relação ao volume processado no mesmo período do ano anterior (544,12 milhões de toneladas). Do volume total de cana processado na segunda quinzena de novembro, 44,58% foi utilizado para a fabricação de açúcar, número praticamente idêntico aos 44,47% observados no último ano.

Nesse período, a produção de açúcar somou 498,60 mil toneladas, volume 51,68% menor que a produção observada no mesmo período da safra passada (1,03 milhão de toneladas) (UNICA, 2011).

O açúcar é um carboidrato encontrado nas frutas e vegetais, e se destina, principalmente, a adoçar bebidas e alimentos, sendo obtido a partir do beneficiamento de méis cristalizáveis da cana e da beterraba (UNICA, 2011). O principal mercado consumidor do açúcar brasileiro exportado é a Europa (UDOP, 2011).

De acordo com a UNICA (2011), atualmente existem os seguintes tipos de açúcar:

- Açúcar refinado granulado – puro, sem corantes, sem umidade ou empedramento e com cristais bem definidos e granulometria homogênea. É utilizado na indústria farmacêutica, em confeitos e xaropes.
- Açúcar refinado amorfo - baixa cor, dissolução rápida, granulometria fina e brancura excelente, o refinado amorfo é utilizado no consumo doméstico, em misturas sólidas de dissolução instantânea, bolos e confeitos e caldas transparentes e incolores.
- Açúcar de confeito – com grânulos bem finos, cristalinos, sem refino e destinado à indústria alimentícia, que o utiliza em massas, biscoitos, confeitos e bebidas.
- Açúcar mascavo - é um alimento obtido diretamente da concentração do caldo de cana recém extraído, eliminando o uso de aditivos químicos para o processo de branqueamento e clarificação. Sua cor pode variar do dourado ao marrom escuro.
- Xarope invertido – com 1/3 de glicose, 1/3 de frutose e 1/3 de sacarose, solução aquosa com alto grau de resistência à contaminação microbológica, que age contra a cristalização e a umidade. É utilizado em frutas em calda, sorvetes, balas, caramelos, licores, geleias, biscoitos e bebidas carbonatadas.
- Xarope simples ou açúcar líquido – transparente e límpido é uma solução aquosa usada quando é fundamental a ausência de cor. É usado na fabricação de bebidas claras, balas, doces e produtos farmacêuticos.
- Açúcar orgânico – produto com granulação uniforme, produzido sem nenhum aditivo químico, tanto na fase agrícola quanto na industrial, e pode ser encontrado nas versões claro e dourado. Seu processamento segue os princípios internacionais de agricultura orgânica e é anualmente certificado pelos órgãos competentes.

2.2.4 Vinhaça

A vinhaça é um resíduo da fabricação do álcool sendo que, para a produção de um litro de álcool são produzidos de 13 litros de vinhaça. Até duas décadas atrás, este resíduo causava grandes danos ambientais porque era descartado sem nenhum tratamento nos rios, provocando a contaminação das águas e a morte de peixes e outros animais silvestres (COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, 2011; PIACENTE, 2005). Atualmente, é usada como fertilizante nas lavouras de cana-de-açúcar contribuindo para a produtividade econômica agrícola. Uma aplicação de 150 m³ de vinhaça por hectare equivale a uma adubação de 61 kg ha⁻¹ de nitrogênio, 40 kg ha⁻¹ de fósforo,

343 kg ha⁻¹ de potássio, 108 kg ha⁻¹ de cálcio e 80 kg ha⁻¹ de enxofre (UDOP, 2011). Se adquiridos no mercado, esses produtos somariam US\$ 78 por hectare.

A vinhaça pode ser aplicada por distribuição em sulcos e canais ou por caminhões tanque. Para que não haja o risco de salinização do solo, é necessário considerar sua composição química e morfológica e o tipo específico da vinhaça para a correta aplicação (COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, 2011). De acordo com Moreira e Goldemberg (1999) uma aplicação de 100 m³ de vinhaça aumenta em 1 tonelada a produtividade da cana. A composição química apresentada na Tabela 2 varia em função do tipo de mosto utilizado na fermentação para a produção de álcool.

Tabela 2 – Composição química da vinhaça (kg/m³ Vinhaça)

Componentes	Mosto		
	Melaço	Misto	Caldo
N	0,7-0,8	0,3-0,5	0,2-0,4
P ₂ O ₅	0,1-0,4	0,1-0,8	0,1-0,5
K ₂ O	3,5-7,6	2,1-3,4	1,1-2,0
CaO	1,8-2,4	0,6-1,5	0,1-0,8
MgO	0,8-1,4	0,3-0,6	0,2-0,4
SO ₄	1,5	1,6	2,0
Matéria orgânica	37,3-56,9	19,1-45,1	15,3-34,7
pH	4,0-4,5	3,5-4,5	3,5-4,0

Fonte: Cortez, Magalhães e Happ (1992).

Além da fertirrigação, a vinhaça pode ser aproveitada utilizando-se métodos de tratamento que requerem maiores investimentos. A vinhaça em uma concentração de 60% pode ser usada como fertilizante (SCHULTZ, 2009). Após esta concentração, ela pode ser seca por atomização, sendo o pó obtido usado como complemento de ração ou incinerado para geração de vapor e obtenção de cinzas potássicas para uso como fertilizantes (SCHULTZ, 2009). Pode ser usada na geração de metano (combustível) pela fermentação anaeróbica que produz, como resíduo, um biofertilizante de uso agrícola. A vinhaça serve de substrato na fermentação aeróbica para o desenvolvimento de certos micro-organismos de

elevado teor proteico (proteína unicelular) que pode ser empregada como complemento de ração (CAMARGO, 1990).

Segundo Lanzotti (2000), potencial da vinhaça é caracterizado basicamente pela sua carga orgânica, avaliado pela sua demanda química de oxigênio (DQO), e pelo seu teor de potássio. O potássio é um elemento que praticamente não participa das reações físico químicas durante o processamento da cana de açúcar. Desta maneira, o potássio que se encontra na cana acaba saindo todo na vinhaça, seja o etanol produzido de caldo, de mel ou de uma combinação entre os dois. O que pode variar é a sua concentração, em função da quantidade de vinhaça produzida por litro de etanol, mas ele estará todo lá.

Quando a vinhaça é aplicada na lavoura, o seu teor de potássio é determinante no cálculo das máximas taxas de aplicação por hectare por ano. A DQO não é relevante, desde que não ocorra infiltração até o lençol freático, pois a matéria orgânica disposta no solo será aproveitada pela soqueira da cana (COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, 2005; LANZOTTI, 2000).

2.2.5 Bagaço

O bagaço da cana-de-açúcar é um resíduo que pode ser aproveitado como recurso energético (combustível), como matéria-prima na indústria de celulose (aglomerados), na indústria química, na construção civil (material alternativo) e como ração animal (CERRI et al., 2007). A quantidade de bagaço obtida por unidade de massa de cana depende do teor de fibra, que varia em função de sua espécie e o momento do corte (ARIAS, 1999; WALTER, 1993). A Tabela 3 apresenta a composição química do bagaço *in natura* e hidrolisado.

Tabela 3 – Composição química do bagaço

ITEM	In Natura	Hidrolisado
Matéria seca (%)	48,31	44,32
Em g/ 100g de matéria seca:		
Proteína bruta	1,86	1,67
Fibra bruta	45,09	34,45
Extrato etéreo	2,26	4,86
Matéria mineral	2,73	4,77
Extrato não-nitrogenado	48,06	54,25
Fibra em detergente neutro	85,24	58,16
Fibra em detergente ácido	62,33	62,65
Celulose	44,69	43,99
Hemicelulose	22,91	--
Lignina em detergente ácido	14,89	15,06
Ca	n.d. ¹	0,12
P	n.d.	0,02
K	n.d.	0,16

Fonte: Cortez, Magalhães e Happ (1992).

Como insumo energético, o bagaço permite a autossuficiência energética das usinas e, em algumas, a venda de energia elétrica excedente (co-geração) (IPCC, 2007; MACEDO, 2005; SMEETS et al., 2008). Ele pode ser queimado diretamente em caldeiras ou pela gaseificação. No setor industrial, o bagaço pode ser utilizado para fabricar celulose e papel como alternativa ao uso da madeira de eucalipto e pinho. Pode ser usado na produção do furfural, usado como solvente para a refinação de óleos lubrificantes, resinas de madeira e óleos vegetais, e álcool furfurílico como matéria-prima para polímeros furânicos, anticorrosivos, polímeros de uréia, formaldeídos modificados, fragrâncias e solvente de resinas e corantes (CAMARGO, 1990; LANZOTTI, 2000).

O bagaço pode ser usado na indústria de placas de compensados. Apesar de ter um baixo valor nutritivo, o bagaço de cana, após passar por um tratamento químico ou físico e ser complementado com outros nutrientes, torna-se um alimento de alto valor nutritivo podendo ser empregado como opção para ração animal (CERRI et al., 2007).

2.2.6 Torta de Filtro

A torta de filtro é produzida no processo de clarificação do caldo onde, para cada tonelada de cana moída, são produzidas de 30 a 40 kg de torta de filtro (CORTEZ; MAGALHÃES; HAPP, 1992). De acordo com Ferraz, Prada e Paixão

(2000) sua composição química, em percentual de matéria seca e umidade de 75%, está apresentada na Tabela 4. Como a quantidade da torta de filtro não é suficiente para cobrir totalmente os canaviais, ela é misturada ao bagaço. A torta de filtro auxilia na retenção de umidade do solo e ainda produz um efeito condicionador (FRAVET et al., 2010).

Tabela 4 – Composição química da torta de filtro

Matéria orgânica	C	N	P₂O₅	K₂O	CaO	MgO	Cinzas
85,14	36,52	1,41	1,04	0,72	5,46	0,56	14,86

Fonte: Ferraz, Prada e Paixão (2000).

2.2.7 Palhiço

O palhiço da cana-de-açúcar, erroneamente denominado de “palha” ou “palhada” representa por volta de 30% da biomassa aera dos canaviais paulistas (RIPOLI; GAMERO, 2007). Nas lavouras de cana, quando não há realização de queimadas como práticas de pré-colheita, existe a possibilidade de se aproveitar o palhiço, que é composto basicamente por pontas, palha, folhas verdes, frações de colmos e raízes, segundo Ripoli e Ripoli (2009).

Com o grande potencial de que se dispõe, o palhiço pode ser empregado como fonte energética; todavia, seu aproveitamento em larga escala ainda é dificultado pelos altos custos de sua recuperação, que envolve recolhimento, adensamento, transporte, redução de tamanho e tecnologia para utilização na planta industrial (MICHELAZZO; BRAUNBECK, 2008).

Usinas que não têm interesse no palhiço e colhem a cana mecanicamente, têm instalado o sistema de limpeza a seco da cana na área industrial, onde através de jatos de ar, se procura separar ao máximo o palhiço e a matéria mineral da cana, que são devolvidos a lavoura.

A situação é bem diferente nas usinas que estão utilizando o palhiço para a geração de energia elétrica em queima nas caldeiras de alta pressão. Neste caso o palhiço não mais pode ser considerado matéria estranha, pois passa a ter valor comercial (CERRI et al., 2007). Este palhiço é da ordem de 9 a 32 t.ha⁻¹ com base em peso úmido e seu uso como fonte de eletricidade poderia atender

anualmente cerca de 5,55 milhões de habitantes na região Centro-Sul do Brasil (RIPOLI; MOLINA JUNIOR; RIPOLI, 2000).

Segundo Ripoli et al. (2006), a utilização da biomassa proveniente do palhiço e do bagaço da cana-de-açúcar na co-geração de energia forneceria energia suficiente para atender à demanda energética de cerca de 12,5 milhões de pessoas. Castro (2001) afirma que o uso do palhiço como fonte de energia seria capaz de duplicar o poder de geração de eletricidade dos canaviais.

Para Bizzo (2007), o poder calorífico do palhiço da cana é equivalente ao da madeira e superior ao do próprio bagaço. A Tabela 5 apresenta o potencial de produção de eletricidade por biomassa existente em mil hectares de área de cultivo.

Tabela 5– Potencial de produção de eletricidade por biomassa

Biomassa	Potência (kW)
Eucalipto	2.250
Bambu	2.500
Pinus	2.250
Mandioca resíduo	490
Cana – Bagaço	1.900
Cana – Palhiço	2.250
Cana – Etanol	2.870

Fonte: Bizzo (2007).

A estimativa do Centro de Tecnologia Canavieira – CTC (2011) é de que a quantidade de palhiço equivale, em média, a 14% da massa dos colmos da cana de açúcar. Acrescentando-se a isso a previsão de produção de 625 milhões de toneladas de cana-de-açúcar na safra 2010/2011 (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2011), estima-se um potencial de coleta superior a 87 milhões de toneladas de palhiço.

Segundo Ripoli e Ripoli (2009), cada tonelada de palhiço pode fornecer a mesma energia gerada por 1,2 a 3 barris de petróleo. Portanto, pode-se concluir que a quantidade de palhiço produzida na safra brasileira de 2010/2011 pode ser estimada em 184 milhões de barris de petróleo, o que representaria uma

receita superior a 18 bilhões de dólares, caso o material fosse destinado à geração de energia (UDOP, 2011; STAB, 2011).

Apesar dos nítidos benefícios do uso do palhiço na co-geração de energia, a maioria das usinas e destilarias ainda produz energia apenas através do uso do bagaço da cana.

Outro importante fator responsável pelo baixo emprego do palhiço como fonte energética relaciona-se aos elevados custos envolvidos em sua recuperação, como já citado anteriormente, que envolve recolhimento, adensamento, transporte e redução de tamanho (MICHELAZZO; BRAUNBECK, 2008). Para tanto, faz-se necessário o desenvolvimento de tecnologias capazes de viabilizar o processo de aproveitamento do palhiço.

2.2.8 Novos Produtos Industriais

“No futuro, a cana produzirá hidrogênio, água e remédio” (UDOP, 2011).

Há milhares de anos o homem já dependia de alguma forma de energia para sua sobrevivência e, segundo Nogueira e Lora (2003), essa energia era obtida principalmente por meio de plantas. Com o aparecimento de novas tecnologias após a revolução industrial no século XVIII associado ao grande crescimento populacional nos últimos séculos, a humanidade passou a utilizar uma grande quantidade de energia.

Com todas essas transformações ao longo do tempo, o mundo vive o dilema de como suprir essas necessidades sem que, no entanto, provoque danos ao meio ambiente do qual se extrai a energia. Com o aumento da quantidade de energia associado à grande demanda por alimento pelo homem, muitas transformações ocorreram no decorrer da história, principalmente quanto à forma de sua obtenção e utilização.

De acordo com o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA (BRASIL, 2011a), a segurança energética é um dos principais desafios deste século. O aumento do consumo de energia, associado ao problema da mudança do clima, principalmente o efeito estufa, ensejam a necessidade de ações mais coordenadas e sustentáveis em seus aspectos ambientais. Nesse sentido, o Brasil tem a contribuir, pois possui uma posição de

destaque no cenário mundial, principalmente por sua forte estratégia em agroenergia, que representa mais da metade dessa fonte renovável.

A indústria da cana-de-açúcar do futuro irá muito além da produção de etanol, açúcar e energia como ocorre hoje (UDOP, 2011). Da planta serão extraídos produtos como o hidrogênio, o combustível do futuro, o gás, a gasolina, carvão, o diesel, alimentos e até remédios (UDOP, 2011).

De acordo com a UDOP (2011), a produção do etanol a partir da biomassa, ou seja, do bagaço da cana, não é mais um desafio. O CTC (Centro de Tecnologia Canavieira) já tem uma planta piloto para isto, restando agora o emprego comercial. "O desafio agora é a gaseificação do bagaço da cana" (UDOP, 2011). Neste processo é possível produzir seis tipos de energia: o etanol, a gasolina, o diesel, carvão, o hidrogênio e a própria energia elétrica. Se fosse usado todo o bagaço produzido hoje poderia ser atendido 30% da demanda de energia. Além disso, há a palha da cana a se aproveitar. Segundo a UDOP (2011), o CTC já desenvolve pesquisas neste sentido.

Estudos do CTC apontam ainda sobre o aproveitamento da vinhaça, líquido resultante da moagem da cana, muito criticado pelos ecologistas por ser altamente poluente. Com o processo de concentração da vinhaça, segundo a CTC (apud UDOP, 2011), é possível produzir fertilizantes, energia elétrica, e biogás (gás natural). Os pesquisadores do CTC ressaltam ainda que no processo seja possível fazer a separação da água.

Num mundo em que há grande preocupação com a economia de água, será possível reaproveitar parte da água usada no processo industrial. Além de ser reaproveitada na usina, essa água poderá inclusive ser potável, segundo as pesquisas do CTC. A extração do etanol da biomassa (etanol de segunda geração) também gera a produção de vinhaça, da qual se extrai novamente os produtos já citados (UDOP, 2011).

A usina do futuro, segundo UDOP (2011), produzirá uma gama enorme de produtos. A levedura extraída da cana pode ser usada na alimentação humana e animal. Do etanol se extrai o biodiesel, compostos alcooquímicos, a serem usados na indústria farmacêutica e o hidrogênio. O hidrogênio é o combustível do futuro.

Do açúcar, além dos biocombustíveis e do diesel, serão extraídos biopolímeros e medicamentos. Já da biomassa, segundo as pesquisas do CTC *apud*

UDOP (2011), será usada também, além das aplicações atuais, para a extração de hidrólise e lignina. A lignina, segundo as pesquisas poderá ser vendida como carvão vegetal ecológico. Com o processo de gaseificação será possível extrair polímeros, gás natural e até gasolina (UDOP, 2011).

Primeiro, foi a bioeletricidade, depois veio o plástico verde. Agora, o mercado começa a se render a mais um produto ecologicamente correto, obtido a partir do bagaço de cana-de-açúcar, que é o subproduto da fabricação de etanol e açúcar nas usinas.

Estudos preliminares apontaram que o bagaço de cana possui grande quantidade de fibras de alta qualidade, pureza elevada e biodegradabilidade, o que está tornando um tipo de papel 100% reciclável (UDOP, 2011).

Os primeiros papéis de cana que surgiram no mercado ainda tinham a aparência de papel reciclado. A maioria das folhas ainda apresentavam textura irregular e cor escura, mas hoje em dia, já é possível encontrar papéis de cana brancos e extra-brancos, em formatos de sulfite e carta A4 (UDOP, 2011). Segundo a GCE PAPÉIS, o ciclo de produção de papel de celulose gira em torno de 6 a 7 anos, pois este é o ciclo da madeira de reflorestamento, geralmente, o eucalipto. O papel de cana, leva em média, 18 meses, e exige menos produtos químicos nos processos de transformação e branqueamento das fibras (UDOP, 2011).

2.3 COLHEITA MECANIZADA E COMPACTAÇÃO DO SOLO

A colheita mecanizada da cana-de-açúcar iniciou-se na década de 1980, como alternativa de substituição parcial da colheita manual, ainda queimando-se o canavial (MACEDO, 2005). Posteriormente, com as leis da eliminação gradual da queima, a mecanização do corte tornou-se uma tendência irreversível devido à inviabilidade do corte manual da cana crua.

Além da pressão internacional por uma produção sustentável e de exigências governamentais contra a queima da cana, existem também motivações econômicas favoráveis à mecanização da colheita da cana. Estudos revelam que uma única máquina pode colher até 600 t dia⁻¹, substituindo cerca de 100 trabalhadores (USTULIN; SEVERO, 2001).

Com a prática da colheita sem a queima prévia do canavial e utilizando-se máquinas para esse fim, grande quantidade de palhada pode ser

depositada sobre o solo, formando uma camada de alguns centímetros de espessura (10 – 12 cm).

Ábramo Filho et al. (1993) avaliando a palhada depositada após o terceiro corte mecanizado do canavial, encontraram 15 mg ha^{-1} de massa seca de palhada, formando uma camada de 8 a 10 cm de espessura possibilitando uma alteração da temperatura de 5°C na superfície do solo abaixo da palhada em comparação com a temperatura ambiente.

Devido à formação da camada de palhada pode ocorrer a formação de um microclima, já que não ocorrem mudanças bruscas na temperatura e na umidade do solo, possibilitando assim, a formação de uma comunidade biológica, principalmente de fungos, que atuará na decomposição desta palhada e estabelecerá uma simbiose mais próxima da encontrada em áreas de mata nativa (CAMPOS, 2003).

Outra importante contribuição da implementação desse sistema, é que este pode funcionar como mitigador de carbono, contribuindo para a redução do efeito estufa, uma vez que o carbono que seria liberado durante a queimada permanece na palhada e pode ser incorporado a MOS.

Estudos realizados por Viana et al. (2011), constataram que o manejo de resíduos, associado às técnicas de manejo e conservação do solo, seriam responsáveis por uma mitigação de CO_2 atmosférico da ordem de $3,2 \text{ Pg ano}^{-1}$ (1 Petagrama = 10^{15}g).

Esta matéria orgânica que fica depositada sobre o solo é um importante reservatório de nutrientes que através da decomposição podem ser disponibilizados para as plantas, desta forma contribuiriam para a recuperação da fertilidade do solo.

Porém, a mecanização da colheita requer investimento em equipamentos e treinamento de equipes, ao contrário, poderá causar impacto sobre o solo, à lavoura e sobre a matéria-prima (SEVERIANO et al., 2010). Problemas com pisoteio e arranque da soqueira, falhas de brotação e redução do vigor, compactação do solo influenciado pela umidade, pressão (carga) e pelo tráfego intenso resultam numa redução de 1 a 2 cortes na longevidade do canavial (ROQUE et al., 2010).

Apesar das conseqüências do tráfego, a colheita da cana crua trás vários benefícios ambientais, principalmente ao solo (MACHADO et al., 2010) como

a presença de maior atividade biológica e microbiana no solo, melhorando a infiltração de água. A palha remanescente da colheita, além de possibilitar diminuir significativamente o consumo de herbicidas, protege a superfície do solo do processo erosivo. A palha também retorna ao solo quantidades significativas de nutrientes, em especial o potássio, resultando em possível economia de fertilizantes (SEVERIANO et al., 2010; MACHADO et al., 2010).

O processo atual de produção de cana-de-açúcar no Brasil está baseado em unidades onde se realizam o plantio e o cultivo em uma ou duas linhas, com tratores que têm no máximo 2,0 m de bitola¹. No entanto a colheita é feita em linhas simples, acompanhada do veículo de transbordo na linha adjacente. Como consequência, verifica-se um tráfego intenso, com baixo rendimento operacional, alto custo e elevada compactação dos solos (ROQUE et al., 2010).

Esses são alguns dos fatores que obrigam a replantio do canavial a cada cinco anos. Atualmente, com o incremento das áreas agrícolas, há maior preocupação com os problemas relacionados à compactação do solo resultante das operações mecanizadas, realizadas em condições de umidade elevadas (SILVA; CABEDA, 2006).

O processo de compactação em um Latossolo Vermelho sob cultivo de cana-de-açúcar foi investigado por Paulino et al. (2004), que verificaram que o manejo de pós-colheita em soqueiras de cana-de-açúcar alterou a densidade do solo, a macro e a microporosidade. Souza et al. (2005), na avaliação de sistemas de colheita de cana queimada e crua com e sem incorporação da palhada de cana-de-açúcar, observaram que os sistemas de colheita alteraram os valores da densidade do solo, a macroporosidade e a estabilidade de agregados até a profundidade de 0,3 m.

As distribuições das pressões decorrentes da carga mecânica aplicada ao solo e a compressibilidade dele (ou a capacidade de o solo ser deformado ou rearranjar suas partículas quando uma carga é aplicada) determinam o tipo e a intensidade da deformação do solo (CAVALIERI et al., 2009). Esses fatores são os responsáveis pelos diferentes níveis de compactação encontrados nos solos agrícolas; a influência deles é de importância fundamental para o

¹ A bitola do trator se refere à distância de centro a centro dos pneus de um eixo. Os tratores podem ter a distância entre as rodas fixa ou regulável para se ajustar ao espaçamento das culturas.

desenvolvimento de estratégias para o manejo, bem como para a atenuação da compactação do solo em profundidade.

Segundo Cavalieri et al. (2009), as diferentes cargas mecânicas aplicadas ao solo pelas máquinas agrícolas alteram o arranjo estrutural do solo, modificando a densidade e a distribuição dos poros, notadamente a distribuição dos poros de maior tamanho. Essas mudanças alteram propriedades físicas do solo que governam a disponibilidade de água, a aeração do solo e a resistência que a sua matriz oferece ao crescimento das raízes.

Nesse sentido, Souza et al. (2005), ao avaliarem o efeito de sistemas de manejo da cultura da cana-de-açúcar nos atributos físicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico de textura média, constataram que a compactação do solo, em decorrência da colheita mecanizada dessa cultura, pode promover reduções superiores a 50% no volume de macroporos do solo. Por sua vez, tal alteração estrutural pode vir a comprometer a sustentabilidade dessa atividade agrícola, uma vez que essa classe de poros, em última análise, determina a taxa de movimentação de água no solo (MESQUITA; MORAES, 2004), a recarga do lençol freático e, conseqüentemente, potencializam as perdas de solo e nutrientes por erosão e o assoreamento dos mananciais (IZIDORIO et al., 2005).

Considerando a tendência de amenização da estacionalidade da produção agrícola com a redução do período da entressafra da cultura, essa situação pode ser agravada pela colheita mecanizada durante a estação chuvosa na região Centro-Sul do Brasil (SEVERIANO et al., 2010); portanto, monitorar a compactação do solo é de fundamental importância na manutenção da longevidade dos canais (BRAUNBECK; OLIVEIRA, 2006).

Isso significa controlar os níveis de pressão aplicados pelos maquinários ou definir estratégias de manejo baseadas na predição dos impactos das operações sobre a estrutura do solo, visando a auxiliar a tomada de decisões em torno do momento adequado à realização das operações mecanizadas.

2.3.1 Queima dos Canaviais

A queima dos canaviais é uma prática agrícola usada ao longo desses anos com o objetivo de se fazer a limpeza para o corte manual. Entretanto, segundo estudos de Cançado et al. (2006) esta prática possui desvantagens como

desperdiçar a energia contida nas folhas, palhas e pontas de cana-de-açúcar; aumentar a temperatura e diminuir a umidade do solo, levando a uma maior compactação e uma perda de porosidade e desequilíbrio da microbiota; poluir a atmosfera tendo CO e CO₂, resultantes da combustão, afetando as áreas rurais adjacentes e os centros urbanos mais próximos; emitir poluentes por meio das queimadas aumentando os casos de doenças respiratórias dos trabalhadores e da população da região.

Segundo Ripoli, Molina Junior e Ripoli (2000), a colheita manual com queima prévia dos canaviais é consagrada tendo em vista os reflexos econômicos imediatos que oferece. Porém, diversos inconvenientes da prática são enumerados pelo autor, como: risco de descontrole do fogo, dificuldade de implantação de controle biológico de pragas, danos à rede de transmissão elétrica e perda de sacarose por exsudação dos colmos.

Além dos problemas já citados, a colheita da cana-de-açúcar com queima prévia também apresenta riscos ao meio ambiente, sendo o principal deles a emissão de gases do efeito estufa, como CO₂, CH₄, N₂O e NO₂.

A cana-de-açúcar foi responsável por cerca de 98% das emissões de gases provenientes da queima de resíduos agrícolas no Brasil (CAMPOS, 2003). Entretanto, o balanço entre a emissão de CO₂ durante as queimadas e a retirada de CO₂ do ambiente, pelo processo fotossintético é nulo, uma vez que a cultura reabsorve o equivalente ao CO₂ emitido.

Assim, a adoção do manejo da colheita sem queima prévia da palha, torna positivo o balanço de CO₂, uma vez que o carbono que seria emitido imediatamente durante a queimada pode permanecer no sistema, e ser incorporado ao solo.

No entanto, o estado de São Paulo conseguiu superar uma barreira na última safra 2010/2011 e já tem mais da metade da sua área de cana-de-açúcar sendo colhida por máquinas e sem a queima da palha. Uma área de 2,4 milhões de hectares de cana foi colhida mecanicamente, o que significa 70% da safra 10/11 (JORNAL DA CANA, 2011; STAB, 2011).

Com os novos prazos estabelecidos pelo governo paulista por meio do Protocolo Agroambiental a previsão é de que em 2014 seja eliminada a queima da cana-de-açúcar nas áreas mecanizáveis e, em 2017, nas áreas não mecanizáveis aquelas que apresentam declividade acima de 12% (UDOP, 2011).

Os canaviais, entretanto, constituem importante fonte de empregos para uma fração da população com baixo nível de instrução, representando a maior demanda de força de trabalho agrícola no estado de São Paulo, com o equivalente de 350.907 homens-ano, em 2005, equivalentes a 35% de toda força de trabalho agrícola (BRAUNBECK; OLIVEIRA, 2006).

A proibição da queima de cana-de-açúcar para seu despalhamento pré-colheita representa um dilema socioambiental (CAMPOS, 2003). Segundo o autor, ao mesmo tempo em que a sua proibição pode contribuir para melhoria da qualidade do ar e, portanto, para a sustentabilidade ambiental e a prevenção de doenças, ela pode suprimir milhares de empregos no campo, gerando insustentabilidade social e espacial.

Muitos viram a mecanização da colheita como uma ameaça massiva aos cortadores de cana. Já que os ganhos de eficiência e produtividade por meio de novas técnicas e equipamentos mais avançados têm pressionado ainda mais o trabalho manual. Para se ter uma idéia, um homem colhe dez toneladas de cana em uma jornada de trabalho de sete horas. Uma máquina colhe até cem vezes mais.

Mas na realidade, o setor sucroalcooleiro paulista, a mecanização da colheita da cana-de-açúcar está causando uma mudança no campo: o aumento da qualificação profissional. Além de melhores condições de trabalho, o cortador passa a ganhar mais para desempenhar sua função.

Segundo um relatório do Ministério da Agricultura (BRASIL, 2011b), a mão de obra qualificada na colheita mecanizada cresceu quase 300% nos últimos seis anos no estado de São Paulo. Com isso, a renda do operário também aumentou.

Um cortador de cana ganha hoje cerca de R\$ 1mil mensais. Já um operador de colhedora pode receber até R\$ 2.200. Em 65% dos canaviais paulistas, a colheita já é mecanizada. Desta forma, para acompanhar este ritmo, as usinas investem no treinamento dos antigos cortadores, incorporando esta mão de obra dentro do próprio setor.

2.3.2 Colheita Mecanizada no Estado de São Paulo

Se antes o cultivo de cana-de-açúcar incluía o uso das queimadas (para a remoção da palha onde a colheita era feita por corte manual), atualmente

essa realidade está bem diferente no estado de São Paulo, principal produtor de cana do País. De acordo com Bertelli (2008) as vendas das máquinas de cortar cana bateram recorde no ano de 2007, e conforme dados da Associação Brasileira de Máquinas e Equipamentos – ABIMAQ (2010), na safra em curso (2010/2011), mais de 70% da área de cana do estado de São Paulo já utiliza modernas máquinas colhedoras.

Além disso, as unidades agroindustriais certificadas pelo Protocolo Agroambiental e os fornecedores de cana-de-açúcar comprometeram-se com a recuperação de 251.375 hectares de mata ciliar, o que representa mais de 40 mil km de rios protegidos (UNICA, 2007).

A mecanização da colheita da cana-de-açúcar avançou e atingiu 65,2% da área colhida no estado de São Paulo, na safra 2011/2012. Os números foram calculados com imagens de satélite, compilados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Dos 4.796.140 ha de cana colhidos na safra de 2011, 3.125.619 ha, ou seja, 65,2% foram colhidos mecanicamente. O restante 1.670.521 ha, 34,8% do total, ainda utilizou a técnica com fogo. Os dados do Protocolo Agroambiental do Setor Sucroenergético apontam que o estado inverteu o quadro em cinco anos. Desde 2007, quando a proposta foi assinada entre o setor canavieiro e o Governo do estado de São Paulo, a mecanização passou de 34,2% para 65,2% da área colhida, frente 65,8% de área queimada para 34,5% (UNICA, 2011).

Outro dado positivo da mecanização é a geração da biomassa. Ao todo, 39 milhões de palha da cana ficam nos canaviais com potencial para gerar 19,5 bilhões de KWh por ano. Maior produtor dessa cultura agrícola no Brasil, o estado de São Paulo responde por 70% da cana no país e por 17% da produção de etanol do mundo (UDOP, 2011; UNICA, 2011; STAB, 2011, JORNAL DA CANA, 2011).

Como resultado de tais medidas, mais da metade da safra 2009/2010 de cana-de-açúcar foi colhida de forma mecanizada sem o uso de queimadas (INPE, 2010); quase cinco milhões de hectares deixaram de ser queimados. Isso significa que o setor deixou de emitir cerca de 17 milhões de toneladas de poluentes. E segundo dados da UDOP (2011), (cerca de 4,8 milhões de hectares) na safra 2011/2012.

2.4 O USO DO SENSORIAMENTO REMOTO NA ANÁLISE AMBIENTAL

O sensoriamento remoto e o geoprocessamento constituem-se em técnicas fundamentais para a manutenção de registros do uso da terra ao longo do tempo. As imagens de satélite, em forma digital ou papel, são muito importantes e úteis, pois permitem avaliar as mudanças ocorridas na paisagem de uma região e num dado período, registrando a cobertura vegetal em cada momento (CAMPOS et al., 2004).

A análise de características, como cobertura vegetal, topografia, drenagem e tipo de solo, permitem chegar ao uso racional e adequado de um determinado espaço geográfico. Dessa maneira, determinam-se áreas de preservação de mananciais, reservas florestais, áreas agrícolas, distritos industriais e áreas de expansão urbana, para que o uso do solo obedeça às características naturais da bacia, e o planejamento considere o desenvolvimento sustentado (TUCCI, 1993).

A degradação do meio ambiente, o uso não sustentável² dos recursos naturais e as mudanças climáticas têm sido algumas das preocupações recorrentes de vários cientistas no mundo inteiro (IPCC, 2007). A degradação ambiental, de grande abrangência e complexidade, necessita cada vez mais da adoção de metodologias de monitoramento sistemático e sinóptico. Destaca-se, assim, o sensoriamento remoto como uma importante ferramenta à análise e controle das questões ambientais.

Pode-se dizer que tudo o que existe numa amostra de terra interfere na refletância. Entretanto, alguns componentes têm maior destaque tais como: óxidos de ferro, granulometria, mineralogia, matéria orgânica. Outros fatores como os cátions da solução do solo também influenciam, porém em menor grau. Fatores outros como umidade do solo e rugosidade da superfície também interferem (DEMATTÊ, 2008).

Se considerarmos que nem sempre o solo estará exposto para avaliação (quando se utiliza imagens de satélite), devemos entender que as plantas também influem na informação remota. Basicamente os fatores interferentes da

² Uso sustentável = desenvolvimento economicamente viável, socialmente justo, culturalmente aceito e ecologicamente correto.

planta são: tipo de cultura, variedade, idade da planta, inserção das folhas, estado nutricional, entre outros.

Toda atividade de manejo realizada no campo, cada qual, interfere de uma forma. Assim é preciso entender o que ocorre no campo para interpretar corretamente as imagens de satélite. Fatores como aração, gradagem, calagem, adubação, palhada, colheita mecanizada, queima, corte da cana, aplicação de vinhaça, entre outros afetam os padrões observados na imagem de satélite.

Em relação aos aspectos de manejo realizado na cana-de-açúcar, segundo Demattê (2008), vários trabalhos vêm sendo realizados com o intuito de entender a sua influência nos dados espectrais. Basicamente observou-se que as seguintes práticas alteram as informações obtidas por sensores remotos: aplicação de vinhaça, torta de filtro, calcário, fosfatagem.

Além disso, o processo erosivo e compactação também afetam as informações. Visto isso, os trabalhos têm observado que existe relação entre os parâmetros físicos e químicos do solo com a energia eletromagnética refletida. Desta forma, outra linha de pesquisa que vem sendo realizada é o da quantificação de elementos do solo. Entre os que têm se destacado estão a argila, areia, óxidos de ferro, ferro, matéria orgânica e Mn. Parâmetros químicos como pH, cálcio e CTC têm obtido bons resultados. Tanto são os resultados positivos que alguns trabalhos científicos têm sugerido a possibilidade de substituição das tradicionais análises de solo em laboratório por métodos por sensoriamento, menos agressivos ao meio ambiente e mais rápidos (DEMATTÊ, 2008).

A determinação dos índices de vegetação e biomassa demonstra o grande potencial desta ferramenta.

O índice de vegetação mais empregado é o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) que, ao realçar o contraste da radiação refletida nos intervalos espectrais do vermelho e infravermelho, que é diretamente proporcional à atividade fotossintética, favorece a identificação das distintas fitofisionomias, bem como os impactos relacionados à atividade antrópica.

O sensoriamento remoto tem sido considerado importante ferramenta nos mais diversos aspectos relacionados com estudos agroambientais e, em particular, com os estudos de solos, os quais têm merecido especial atenção, haja vista sua importância quanto aos aspectos agrícolas e ambientais. Os altos custos e tempo despendidos com o uso de métodos tradicionais de avaliação de

solos levam à necessidade de utilização de novos métodos, principalmente com o advento da agricultura de precisão. Neste sentido, o Sensoriamento Remoto apresenta-se como ferramenta de alto potencial, como afirma Ben-Dor (2000).

Atualmente, são avaliadas imagens de satélite, com sucesso em diversas áreas, como em levantamentos geológicos (VINCENT, 1999), no inventário e levantamento do uso da terra, visando à discriminação e ao monitoramento de culturas (ZERMIANI et al., 1999).

É nesse sentido que as técnicas de sensoriamento remoto vêm-se mostrando promissoras, sobretudo no mapeamento de grandes extensões geográficas onde o uso dessas técnicas é requerido, realizado a partir de imagens orbitais, onde a resolução espacial é um dos principais fatores na definição das legendas dos mapas temáticos (PONZONI; REZENDE, 2002).

Todavia, os dados de sensores remotos necessitam ser analisados para que sejam extraídas informações necessárias ao planejamento, manejo e monitoramento dos recursos (RIBEIRO, 2003). Assim, muitas técnicas de classificação foram desenvolvidas, visando, sobretudo, o mapeamento do uso e ocupação do solo. Esses trabalhos, focados no mapeamento terrestre, normalmente abordam classes de uso da terra com diferentes características espectrais (área urbana, pastagem, mata natural, espelho d'água etc.).

2.5 O MERCADO DE TRABALHO NO SETOR SUCROALCOOLEIRO

O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar, detendo cerca de 40% da produção mundial da commodity (VIAN, 2009). Além de representar 2% do PIB, o setor sucroenergético também gerou 4,5 milhões de empregos diretos e indiretos na safra 2009/2010 e movimentou R\$ 56 bilhões entre produção de cana, açúcar, etanol e bioeletricidade (PROCANA, 2009).

Sob a ótica social, a despeito dos praticamente um milhão de empregos formais gerados somente nos três setores – cana-de-açúcar, açúcar e álcool – e apesar das perspectivas de geração de novos postos de trabalho nas indústrias do açúcar e do álcool devido à expansão do setor, muito tem se escrito sobre os empregos agrícolas – especificamente dos cortadores de cana-de-açúcar – principalmente sobre as condições de trabalho, ao pagamento por produtividade, ao uso da terceirização na contratação dos cortadores e da migração de trabalhadores

de outros estados, que vem principalmente para o estado de São Paulo para trabalhar no corte da cana-de-açúcar (MORAES, 2007).

O setor sucroenergético, pode ser considerado um exemplo de desenvolvimento sustentável, com ganhos ambientais, por meio da melhoria da qualidade do ar e diminuição da poluição, e expansão da produção e geração de empregos, com aumento salarial e das condições de trabalho.

Para Moraes (2007), a queima deu lugar à mecanização, o trabalho insalubre ao qualificado, e o número de trabalhadores mais capacitados deu um salto de quase quatro vezes. Em 2006/2007, quando o Protocolo foi firmado, eram 15.060 trabalhadores qualificados, e em 2011, são 56.829 (UDOP, 2011, ÚNICA, 2011, COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2011). Muitos dos cortadores foram aproveitados e hoje são operadores de colhedoras e de transbordo, tratoristas, mecânicos e motoristas. Além das melhoras nas condições de trabalho, os trabalhadores sentiram no bolso os avanços do setor. O menor crescimento de salário foi de 28%. Para tanto, o governo do estado de São Paulo e a iniciativa privada investiram na capacitação profissional, por meio das ETECS, FATECS, SENAI e das próprias usinas.

Segundo os dados fornecidos pelas usinas (UNICA, 2011, ORPLANA, 2012 UDOP, 2011), 118 mil pessoas foram contratadas para trabalhar durante a safra 2011/2012 em São Paulo, 13% a mais do que na safra 2006/2007, quando a mecanização ainda estava apenas começando e o número de contratações não passou de 105 mil.

O fato é que a mecanização da colheita altera o perfil do empregado: cria oportunidades para tratoristas, motoristas, mecânicos, condutores de colheitadeiras, técnicos em eletrônica, dentre outros, e reduz, em maior proporção, a demanda dos empregados de baixa escolaridade (grande parte dos trabalhadores da lavoura canavieira têm poucos anos de estudo), expulsando-os da atividade. Este fato implica a necessidade de alfabetização, qualificação e treinamento desta mão-de-obra, para estar apta a atividades que exijam maior escolaridade.

Segundo estimativas da UNICA (2011), sem se considerar os funcionários envolvidos na gestão e administração da produção, no estado de São Paulo, até a safra de 2020/2021, o número de empregados envolvidos com a produção de cana-de-açúcar, açúcar e álcool passará de 260,4 mil para 146,1 mil,

ou seja, haverá uma redução de 114 mil empregos neste período, conforme exposto na Tabela 6.

Observa-se que na indústria é esperado um aumento de 20 mil empregados, enquanto na lavoura canavieira o número passará de 205,1 mil empregados para 70,8 mil, ou seja, uma queda de 134,3 mil (UNICA, 2011; UDOP, 2011). A previsão é que não haja colheita manual na safra 2020/2021. Para que parte dos empregados agrícolas sejam realocados para as atividades do corte mecânico, é necessário escolaridade maior do que a da grande maioria dos empregados.

Tabela 6 Estimativas da redução do número de empregados dos setores de cana-de-açúcar, açúcar e álcool no Estado de São Paulo

	2006/07	2010/11	2015/16	2020/21
Produção Cana-de-Açúcar (mil t)	299	370	457	544
Área Colheita Mecânica (%)	40%	70%	100%	100%
Número de Empregados (mil empregados)				
- Colheita Manual	189,6	107,4	0	0
- Colheita Mecânica	15,5	30,8	59,5	70,8
- Indústria	55,3	62,6	68,3	75,3
Total (mil empregados)	260,4	200,8	127,8	146,1

Fonte: UNICA (2011).

Nessa lógica, Balsadi (2007), ressalta em seu estudo³ as melhorias em diversos indicadores socioeconômicos ao longo do tempo, tais como a redução do trabalho infantil, o aumento do nível de formalidade, os ganhos reais de salário, o aumento de alguns benefícios recebidos e o aumento da escolaridade dos empregados. O autor salienta o elevado percentual de trabalhadores com carteira assinada, o que possibilita acesso à aposentadoria, e destaca que a cultura da cana-de-açúcar é uma das atividades com maior nível de formalidade do emprego.

A análise dos dados sobre o mercado de trabalho no setor canavieiro, conforme Basaldi (2007) evidencia alguns fatos:

³ Os dados socioeconômicos deste estudo foram extraídos da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD), do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (diversos anos) e dos Registros Administrativos do Ministério do Trabalho e Emprego (RAIS), do Ministério do Trabalho.

- a) A evolução do emprego no setor ficou relativamente estagnada desde os anos 1990, o que reflete uma ampla mudança tecnológica (a mecanização), havendo assim, um aumento significativo na produção, sem o aumento do emprego.
- b) O setor apresentou maior participação de trabalhadores permanentes, maior participação de trabalhadores com carteira assinada e melhor distribuição de renda do trabalho.

Este conjunto de indicadores sinaliza que a atividade sucroalcooleira apresenta melhores indicadores de remuneração e de condições de trabalho. Essa situação tende a melhorar ainda mais com o avanço da mecanização, que já esta eliminando o único aspecto, que segundo os indicadores do estudo de Basaldi (2007), foi o pior: a qualificação da mão de obra. Sendo assim, as preocupações existentes sobre a deterioração das condições de trabalho em função de uma expansão significativa e da mecanização do setor, parece não ter fundamento.

Em resumo, a literatura sobre o setor sucroalcooleiro é vasta. Esta condição faz todo sentido dada a história e a importância do setor para a economia do país, ainda mais quando se pensa nas perspectivas relacionadas à agroenergia e aos biocombustíveis. De forma geral, ressalta-se na literatura uma preocupação grande com dois temas: a) pesquisa e desenvolvimento no setor, buscando aumento da produtividade e novas fontes de produção do etanol de primeira e segunda geração; b) a imagem da sustentabilidade do setor e os problemas associados com as externalidades negativas da sua produção, tanto na dimensão ambiental como na social.

Até aqui foram apresentadas estas questões, indicando os desenvolvimentos mais recentes. Na próxima seção serão abordadas as questões sobre ocupação e evolução do uso do solo por canaviais com a utilização de técnicas de Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas, e análise da situação ambiental através de indicadores físicos e matéria orgânica do solo da região ocupado há 30 anos com cultura de cana-de-açúcar.

3 INDICADORES SOCIECONOMICOS E AGROAMBIENTAIS

3.1 Resumo: Transformações em tecnologias no campo e na indústria, novas dinâmicas de trabalho e mudanças significativas no setor sucroalcooleiro comprovam a necessidade de estudos aprofundados através de indicadores socioeconômicos e agroambientais. Com o objetivo de caracterizar a evolução do uso do solo e a expansão do complexo sucroalcooleiro no curso médio da bacia do Rio Capivara na região Vale do Paranapanema, situada no sudoeste do estado de São Paulo, entre os anos de 1977 a 2010, este estudo foi baseado na utilização do Sensoriamento Remoto e técnicas de geoprocessamento, análises de cartas cartográficas, observação e confirmação dos dados obtidos em etapas de campo. Assim, foram organizados mapas temáticos referentes ao uso da terra e cobertura vegetal, solos, geologia, declividade e potencial erosivo. Para a caracterização da situação ambiental das lavouras de cana-de-açúcar foi avaliada a compactação a partir de dados de densidade e resistência do solo à penetração. Os solos da área são basicamente Latossolos Vermelhos de textura argilosa e textura média. Para tanto, foram selecionadas quatro tratamentos: cana queimada com corte manual; cana queimada com corte mecânico; cana crua com corte mecânico e mata nativa. Os resultados obtidos mostraram através das cartas temáticas onde as áreas de pastagens, que em 1977 ocupavam 59% da área da bacia, foram reduzidas em 2010 para 22%. Nesse mesmo período, as áreas de mata nativa tiveram uma diminuição de 24% para 10% e o plantio de cana-de-açúcar passou de 4% para 35%. Essa mudança de uso do solo da bacia influenciou na diminuição dos processos erosivos e na diminuição das áreas de proteção permanente. Em relação aos resultados dos atributos físicos do solo, pode-se constatar que o tráfego das máquinas agrícolas aumentou a resistência à compactação do solo e a densidade nos sistemas mecânicos de colheita o que pode causar a degradação cumulativa da qualidade física do solo, o que não foi o caso do estudo em questão, pois, os resultados de porosidade e compactação não foram limitantes ao desenvolvimento da cultura.

3.2 INTRODUÇÃO

A cultura da cana-de-açúcar vem recebendo cada vez mais destaque no cenário mundial por ser uma cultura de grande eficiência na produção de biocombustíveis e consequente mitigação da intensificação do efeito estufa. É uma das culturas mais tecnificadas e capacitadas no que diz respeito ao uso de técnicas para seu gerenciamento (GOLDEMBERG; GUARDABASSI, 2009).

Essa cultura, considerada de grande importância nacional, tem ocupado grandes extensões de terras, sendo o Brasil o maior produtor e exportador do mundo, seguido pela Índia e Austrália. De acordo com a Companhia Nacional do Abastecimento - CONAB (2011), a área de cana-de-açúcar colhida destinada à atividade sucroalcooleira está estimada em 8.033,6 mil hectares, distribuída em

todos estados produtores. A área colhida teve aumento de 8,40% em relação à safra anterior (2009/2010). O aumento da área pode ser explicado a partir do crescimento natural das áreas das usinas recentemente instaladas, das áreas de renovação e do aumento de moagem em determinadas unidades produtivas.

Conforme dados do Instituto de Economia Agrícola – IEA (2012) em relação à área total do Brasil, o estado de São Paulo representa 54,23% (4.357,01 mil hectares), seguido por Minas Gerais com 8,1% (649,94 mil hectares), Paraná com 7,25% (582,32 mil hectares), Goiás com 7,46% (599,31 mil hectares), Alagoas com 5,46% (438,57 mil hectares), Mato Grosso do Sul com 4,93% (396,16 mil hectares) e Pernambuco com 4,32% (346,82 mil hectares). O levantamento indica aumento de área em todas as regiões. No norte o acréscimo foi de 13,20%, no nordeste a área manteve-se estável, com pequena elevação de 1,70%. Na região centro oeste o aumento foi de 27,90%, no sudeste foi de 6,10% e a região sul observou-se incremento de 8,80% na área colhida.

Devem sair dos canaviais brasileiros em 2012/2013, 500 milhões de toneladas, uma alta de 9% em comparação com a safra atual. A produtividade deve aumentar 6%, chegando a 67,82 toneladas por hectare. Já a área plantada deve passar de 8,4 milhões de hectares para 8,7 milhões de hectares (SAFRAS & MERCADO, 2012).

No ano de 2010, o rendimento dos canaviais foi de 82 toneladas e, em anos de boa safra, como 1998, a produtividade ficou perto de 95 toneladas de cana por hectare (UNICA, 2011; COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2011).

Segundo a UNICA (2011), os principais fatores que levaram a essa redução no volume de cana disponível para a moagem foram a idade avançada do canavial, em função da menor renovação da cultura e menor investimento em tratamentos culturais nos últimos anos, e a estiagem, que prejudicou o desenvolvimento das plantas. O canavial velho reduz o rendimento agrícola da lavoura.

Por outro lado, a crescente demanda por produtos sucroalcooleiros, com grande demanda nacional e internacional por açúcar e álcool, vem ocasionando uma intensa busca por áreas aptas para o cultivo da cana, fato que estimulou novos investimentos no oeste paulista (CANAOESTE, 2011).

Dessa forma, áreas do Vale do Paranapanema no Planalto Ocidental Paulista vêm nos últimos 30 anos aumentando seu polo sucroalcooleiro, por ser

considerada uma das últimas grandes regiões do estado de São Paulo com solo, clima e relevo favorável para essa expansão, sendo que a região é vista como o futuro da agroindústria sucroenergética (CANAOESTE, 2011). Assim sendo, a pecuária começou a ceder áreas para o cultivo da cana-de-açúcar (para fins industriais) a partir do ano 2000 (RIPOLI; RIPOLI, 2009).

Como a cana-de-açúcar é considerada uma cultura semi-perene, plantada em grandes áreas, ela possui características favoráveis para sua identificação nas imagens de satélites e consequente análise e mapeamento da sua cobertura na superfície da Terra.

Para quantificar as áreas agrícolas de cana-de-açúcar e gerar mapas temáticos com a sua distribuição espacial é fundamental a aplicação de ferramentas de sensoriamento remoto (SANCHES et al. 2011; CANASAT, 2011), princípios de geoprocessamento, processamento digital de imagens, interpretação de imagens e análise temporal de imagens.

Neste contexto, o Sensoriamento Remoto, representa hoje, um dos principais instrumentos para o monitoramento de realidades amplas e dinâmicas na identificação dos alvos presentes no ambiente terrestre por meio do estudo entre a radiação eletromagnética e as substâncias componentes do planeta Terra em suas diversas manifestações; sendo essa uma tecnologia que permite a aquisição de informações necessárias para o mapeamento e caracterização de áreas agrícolas (NOVO, 1992).

Dentro desse contexto, segundo Severiano et al. (2010), a pressão pelo uso de fontes de energia alternativa aos combustíveis fósseis, observada nas últimas décadas, vem fazendo com que os agrossistemas canavieiros sejam cada vez mais explorados com tecnologias baseadas no uso de modernos equipamentos e máquinas agrícolas em todas as etapas do processo produtivo.

Atualmente, com o aumento das áreas agrícolas, há maior preocupação com os problemas relacionados à compactação do solo resultante das operações mecanizadas, realizadas em condições de umidade elevadas (SILVA; CABEDA, 2006).

No entanto, a cana-de-açúcar é cultivada em sulcos; dessa forma, tratores e colhedoras trafegam frequentemente na entrelinha da cultura, muitas vezes em condições desfavoráveis em termos de conteúdo de água, tornando praticamente inevitável a ocorrência da compactação do solo (IAIA; MAIA; KIM,

2006; MACHADO et al, 2010), problema considerado um dos principais fatores da degradação de sua estrutura (MOSADDEGHI et al., 2007). Como consequência, há alteração na densidade decorrente da modificação da estrutura o que afeta as propriedades físicas fundamentais, como porosidade de aeração, retenção de água, disponibilidade de água às plantas e a resistência do solo à penetração, resultando, em última instância, no declínio da produtividade da lavoura (TORMENA et al. 2002; SUZUKI et al., 2007).

Sabe-se que, grande parte dos solos cultivados com cana-de-açúcar na região centro-sul do Brasil são profundos, argilosos e de textura média. Sabe-se, que, parte do período de safra da região coincide com o período chuvoso. Tais fatores, solos argilosos, colheita e umidade do solo, são propícios ao incremento da compactação, principalmente aquela de sub-superfície (MACHADO et al., 2010).

Dessa forma, monitorar a compactação do solo é de fundamental importância na manutenção da longevidade dos canaviais (BRAUNBECK; OLIVEIRA, 2006). Isso significa controlar os níveis de pressão aplicados pelos maquinários ou definir estratégias de manejo baseadas na predição dos impactos, das operações sobre a estrutura do solo, visando auxiliar na tomada de decisões em torno do momento mais adequado à realização das operações mecânicas, uma vez que o processo de mecanização da colheita da cana é irreversível.

Assim, buscou-se nesta seção, avaliar através de dados de sensoriamento remoto, a expansão da atividade sucroalcooleira no curso médio da bacia do rio Capivara no sudoeste paulista entre as décadas de 1970 e 2010, bem como compactação do solo sob diferentes manejos da cana-de-açúcar.

3.3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido através de pesquisa realizada em artigos e periódicos publicados sobre o tema da tecnologia do sensoriamento aplicada à produção agrícola, expansão da atividade canavieira no Planalto Ocidental Paulista e por meio de consultas na internet, nos sites dos órgãos que tratam do assunto, como: EMBRAPA, CANASAT (INPE), CENA (USP), IEA, IBGE, BNDES, BMF, CNA, ABIMAQ, CTC, IAC, CANAOESTE, CONAB, UNICA e UDOP, que discutem através de pesquisas de cunho científico e jornalístico tudo o que diz respeito ao setor sucroalcooleiro do país.

Foi feito também um acompanhamento dos suplementos agrícolas dos jornais Folha de São Paulo, O Estado de São Paulo e Jornal da Cana, Revista Agroanalysis, Revista Stab, etc, entre os anos de 2009 a 2012, bem como as séries estatísticas do Ministério da Agricultura, da CONAB, IEA, UDOP e da UNICA entre 2009 a 2012.

Utilizando estas ferramentas englobadas pelo SIG foi possível realizar o mapeamento necessário para os estudos de evolução do uso do solo na bacia do Rio Capivara, sendo as cartas elaboradas com a utilização do software ArcMap 9.3.

Foi utilizado o Sistema de Projeção Universal Transversal de Mercator com origem da Quilometragem do Equador e Meridiano em 57° W GR, acrescidas as constantes 10.000 km e 500 km, respectivamente. O Datum Horizontal utilizado foi o SAD 69 zona 21S e o Datum Vertical utilizado foi o de Imbituba – SC.

Todas as bases foram manipuladas através de ferramentas de geoprocessamento para que as informações ficassem padronizadas dentro do sistema de projeções definido e de acordo com a escala de apresentação escolhida para o estudo (1:300.000).

As imagens do Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), disponibilizadas pela EMBRAPA⁴ foram utilizadas para desenvolver as cartas de Hipsometria e Declividade, e auxiliaram na delimitação da hidrografia e levantamento das curvas de nível de 20 em 20 metros através da extração dos contornos da superfície. Para a apresentação da Hipsometria, optou-se pela representação de altitudes que melhor se adaptaram a escala de apresentação. Na carta de declividade, utilizou-se o intervalo de classes segundo modelo proposto por Andrade et al. (1998).

Para a análise multitemporal da área de estudo foram utilizadas imagens dos satélites LANDSAT 2 MSS com 80 metros de resolução espacial e data de passagem de 24/04/1977, e LANDSAT 5 TM com data de passagem de 16/06/2010. As datas foram escolhidas por intervalos de aproximadamente 30 anos por representarem momentos históricos específicos e bastante distintos com relação ao uso do solo, sendo que a imagem de 1977 representa o momento de transição das culturas da época e as culturas de commodities, e a imagem de 2010 representa

⁴ Obtidas em <http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br/download/sp/sp.htm>

o atual estágio de ocupação. Além disso, foram escolhidas as imagens com melhor qualidade, ou seja, menor quantidade de nuvens e ruídos. Todas as imagens foram obtidas no INPE⁵. O tratamento das imagens foi efetuado no software SPRING 5.0, do INPE.

O processo de tratamento das imagens seguiu basicamente o seguinte procedimento: inicialmente a imagem bruta passou pelo processo de registro da imagem (georreferenciamento); foram escolhidos 12 pontos de controle na base cartográfica georreferenciada e os pontos correspondentes nas imagens receberam o registro das coordenadas UTM de cada ponto. Depois de georreferenciada, as imagens passaram pelo processo de contraste, para melhor visualização dos alvos das imagens. As imagens LANDSAT, por serem multiespectrais, permitiram a criação de composições coloridas aplicando uma cor a cada banda, sendo utilizada a composição 3R 4G 5B. Estas imagens foram segmentadas e classificadas através do classificador MaxVer (Máxima Verossimilhança) com linear de aceitação de 99,9%, com isso pode-se identificar os tipos de uso do solo e tipos de vegetação.

Para o cálculo da pluviosidade média anual, foram utilizados os dados das estações pluviométricas da região da bacia retirando as séries históricas disponíveis no site da Agência Nacional das Águas - ANA (2010), para tanto, foram escolhidas as estações que apresentavam menor número de falhas na coleta das chuvas.

Ao todo foram utilizadas 16 estações onde foram calculadas as médias anuais de cada uma através do software Hidro 1.2, desenvolvido pela ANA.

Para a construção da carta de pluviosidade, os pontos que representavam a localização das estações receberam o valor da pluviosidade média anual calculada e através do método IDW (Inverse Distance Weighted) foram interpolados os dados, criando isolinhas que representam as áreas relacionadas à pluviosidade.

Para a criação da Carta de Potencial Natural Erosivo do Solo foi utilizado método que contempla os três fatores fundamentais do ambiente físico envolvido na avaliação do risco de erosão: topografia, clima e solo (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1999).

⁵ Obtidas em <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>

Valério Filho (1994), Bueno e Stein (2004), Pedro e Lorandi (2004), Alvares e Silva (2005) e Zaroni (2006) determinaram o Potencial Natural de Erosão (PNE) para várias localidades considerando os quatro primeiros fatores da Equação Universal de Perda de Solo, os quais correspondem aos fatores do ambiente físico, acima citados. A equação para cálculo do Potencial Natural de Erosão utilizada foi:

$$\text{PNE ou } A = R K L S$$

onde:

- PNE ou A – potencial natural de erosão (perda de solo) calculada por unidade de área ($\text{t ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$);
- R - fator erosividade da chuva (MegaJoule milímetro) (hectare hora^{-1});
- K - fator erodibilidade do solo (t h ha^{-1}) (MJ ha mm^{-1});
- L – fator comprimento de rampa;
- S - fator declividade.

Os fatores L e S geralmente são calculados conjuntamente e retornam valores adimensionais.

Os valores de R foram obtidos através do software netErosividade SP – Erosividade da chuva para o Estado de São Paulo (GRUPO DE PESQUISA EM RECURSOS HÍDRICOS - GPRH, 2005). Através do método IDW foram interpolados os valores para cada município, criando isolinhas com a erosividade da bacia.

Os valores de K para os solos, Argissolos Vermelhos distróficos, Latossolos Vermelhos eutroféricos e Nitossolos Vermelhos eutroféricos foram compilados de fontes bibliográficas.

Os valores L e S foram obtidos através do cálculo de declividade da bacia, obtido através da ferramenta *Slope* aplicada à carta hipsométrica gerada pelo SRTM e cedidas pela EMBRAPA.

Cruzando estas informações foi possível delimitar o potencial natural de erosão do solo da bacia do Rio Capivara.

Do ponto de vista metodológico, reconheceu-se a bacia hidrográfica como uma unidade de paisagem representativa para os estudos do meio físico,

relacionados com sua caracterização e avaliação da presença de processos de erosão das vertentes.

Como indicadores de sustentabilidade do solo predominante da bacia, foram selecionados parâmetros físicos de qualidade do solo, como a sua resistência à compactação, densidade do solo, densidade de partículas, porosidade e matéria orgânica.

Para tanto, o estudo foi conduzido em lavouras de cana-de-açúcar e em área remanescente de mata nativa pertencentes à Fazenda Rancho Alegre Agroindustrial, localizada entre os municípios de Paraguaçu Paulista e Maracáí, no sudoeste do estado de São Paulo, (22°29'S e 50°37'W) localizada no curso médio da bacia do rio Capivara. As análises foram realizadas em 2010, onde foram selecionadas as áreas em Latossolo Vermelho distroférico, textura média (Tabela 7), sob mata nativa (MN), - referência, e sob três diferentes sistemas de manejo da cultura de cana-de-açúcar: colheita da cana com prévia queima da palha com corte manual e carregamento mecânico por um trator e uma carregadeira (CQMn); colheita da cana com prévia queima da palha com corte mecânico e carregamento com um trator e um transbordo (CQMc); e colheita da cana crua com corte mecânico e carregamento com um trator e um transbordo (CCMc).

Tabela 7 – Textura do solo e densidade de partículas (Dp), para a camada de 0 - 0,20 m, de Latossolo Vermelho textura média sob mata nativa (MN) e diferentes manejos de cana-de-açúcar (CQMn – cana queimada e corte manual; CQMc – cana queimada e corte mecânico; CCMc – cana crua e corte mecânico).

Tratamentos	Textura (g kg ⁻¹)			Dp (Mg m ⁻³)
	Argila	Silte	Areia Total	
MN	379	239	382	2,78
CQMn	387	234	379	2,77
CQMc	388	233	379	2,94
CCMc	372	243	385	2,70

Fonte: Autora.

A área onde foi realizada coleta de amostras de solos é cultivada com cana-de-açúcar há 15 anos. A cada ciclo de 5 a 7 cortes, é realizada a reforma do canavial com os devidos tratos culturais, utilizando-se implementos dotados de hastes subsoladoras ou escarificadoras com profundidade de 0,50 cm, que realizam, simultaneamente, operações no terreno e reformas das curvas de nível e correção do solo para novo plantio.

Os talhões foram plantados com cana-de-açúcar em fevereiro de 2008, correspondente à renovação do canavial com a primeira colheita (cana planta ou primeiro corte) em 2009, seguido do 2º corte em 2010, e 3º corte em 2011.

Para estudo da compactação, determinou-se a resistência mecânica do solo à penetração de forma aleatória em cada manejo considerado, além da área de mata nativa, mediante o uso do penetrômetro de impacto - modelo IAA/Planalsucar (STOLF; FERNANDES; FURLANI NETO, 1983), num total de 10 repetições. Os resultados obtidos em impactos dm^{-1} foram convertidos em resistência dinâmica (MPa) por meio da fórmula (STOLF, 1991):

$$RP \text{ (kgf cm}^{-2}\text{)} = 5,6 + 6,89 N \text{ (impactos dm}^{-1}\text{)} \text{ (1)}$$

Para conversão da RP em kgf cm^{-2} para MPa, multiplicou-se o resultado obtido na equação 1 pela constante 0,0981.

No momento da determinação da resistência mecânica do solo à penetração, foram coletadas amostras (10 amostras/profundidade) para determinação da densidade do solo, umidade gravimétrica e matéria orgânica, de acordo com os métodos propostos pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (1997).

Para densidade do solo foram utilizadas 10 amostras de solo na profundidade de 0-20 cm para cada tratamento. Essa profundidade foi escolhida devido a sua maior contribuição para os sistemas de cultivo. A densidade do solo foi determinada pelo método do anel volumétrico, conforme A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (1997), o qual se fundamenta no uso de um anel de bordas cortantes com capacidade interna conhecida. A verificação da densidade do solo ocorreu no final do período de avaliação da umidade. Determinou-se o volume do anel conforme a equação abaixo:

$$Vc = d^2 \cdot hc/4$$

em que:

Vc = volume do anel, dm^3

d = diâmetro do anel, dm

hc = altura do anel, dm

Cravaram-se os anéis no solo, por meio de percussão, até seu preenchimento total, à profundidade entre 15 e 20 cm. Posteriormente, removeu-se o

excesso de solo, até igualar as bordas do anel, sendo estas revestidas por uma proteção plástica resistente. O solo obtido dentro do anel foi transferido para um recipiente e levado para secar em uma estufa a 105°C, por 24h, visando obter sua massa. Após esse período, determinou-se a D_s através da equação abaixo:

$$D_s = m/V_c$$

em que:

D_s = Densidade do solo, g cm^{-3} ;

m = massa de solo seco;

V_c = volume do anel, cm^3 .

Na mesma amostra retirada para análise da densidade foi extraída a umidade do solo pelo método da estufa. As amostras foram coletadas de forma aleatória e analisadas através do método do torrão impermeabilizado conforme metodologia descrita pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (1997). Para a determinação da porosidade do solo, as amostras indeformadas foram saturadas por 48 horas em bandeja com água até dois terços da altura do anel. Após o período de saturação, as amostras foram drenadas no potencial equivalente a -0,006 MPa utilizando uma mesa de tensão adaptada de Kiehl (1979). A partir dos valores de umidade com saturação da amostra e dos valores de retenção de água, calculou-se os valores de macro, micro e porosidade total do solo.

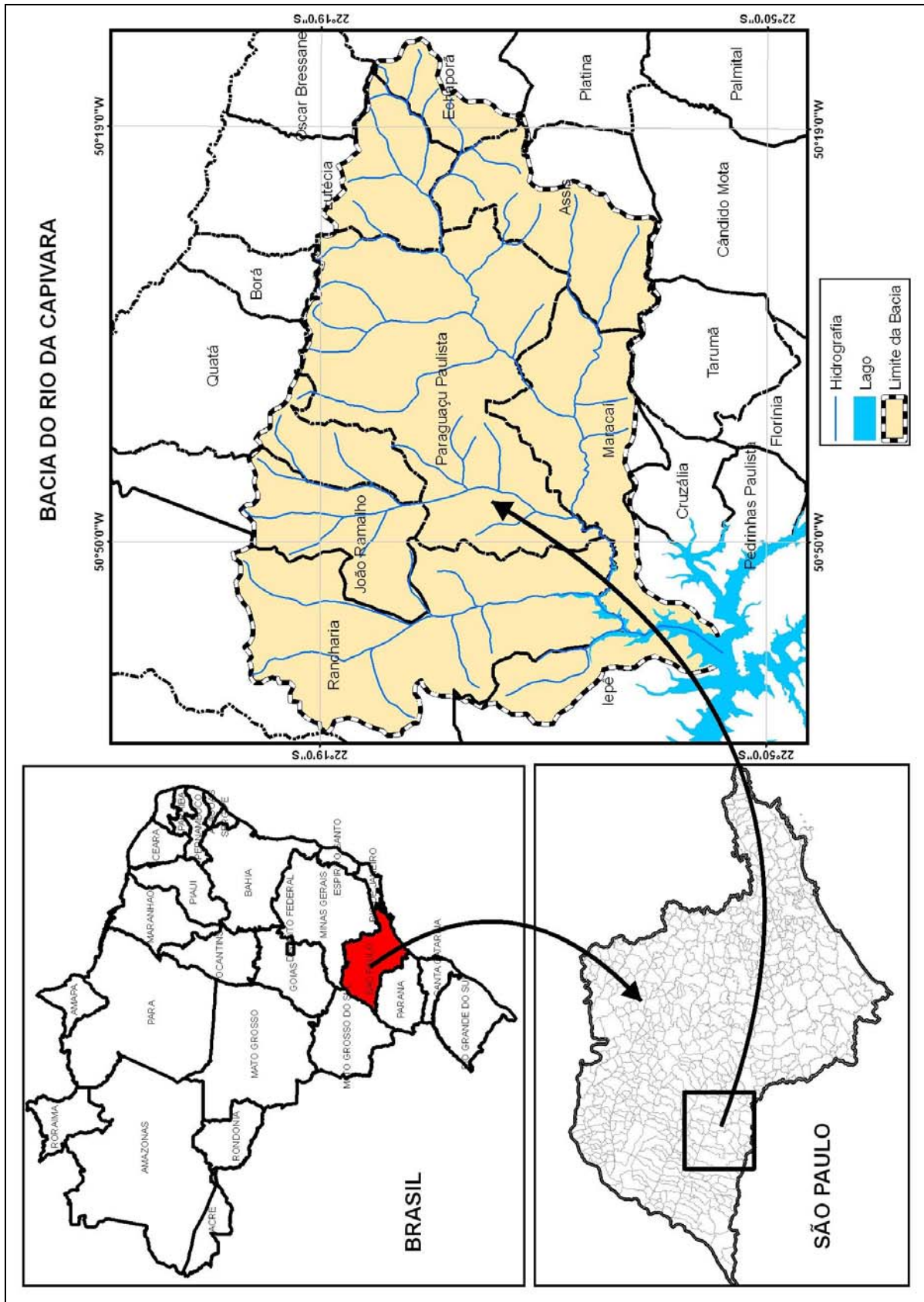
Os resultados foram apresentados em valores médios, bem como calculados o coeficiente de variação e o intervalo de confiança a 95%.

3.3.1 Características Físicas da Bacia do Rio Capivara

A área da bacia do rio Capivara (Figura 2) está inserida na região Vale do Paranapanema, no Planalto Ocidental Paulista (22°29'S e 50°37'W) que é caracterizado por relevos colinosos, sustentados por rochas sedimentares e ígneas básicas da Bacia do Paraná e recobertos predominantemente por Latossolos, Nitossolos e Argissolos. Estes solos são o resultado de processos pedogenéticos ocorridos sob rochas areníticas do Grupo Bauru (Formação Caiuá, Santo Anastácio, Adamantina e Marília) e basálticas do Grupo São Bento (Formação Serra Geral) (PIRES NETO et al., 2006) (Figura 3). Geomorfologicamente, o oeste paulista onde se insere a bacia do Rio Capivara, encontra-se localizado no Planalto Ocidental

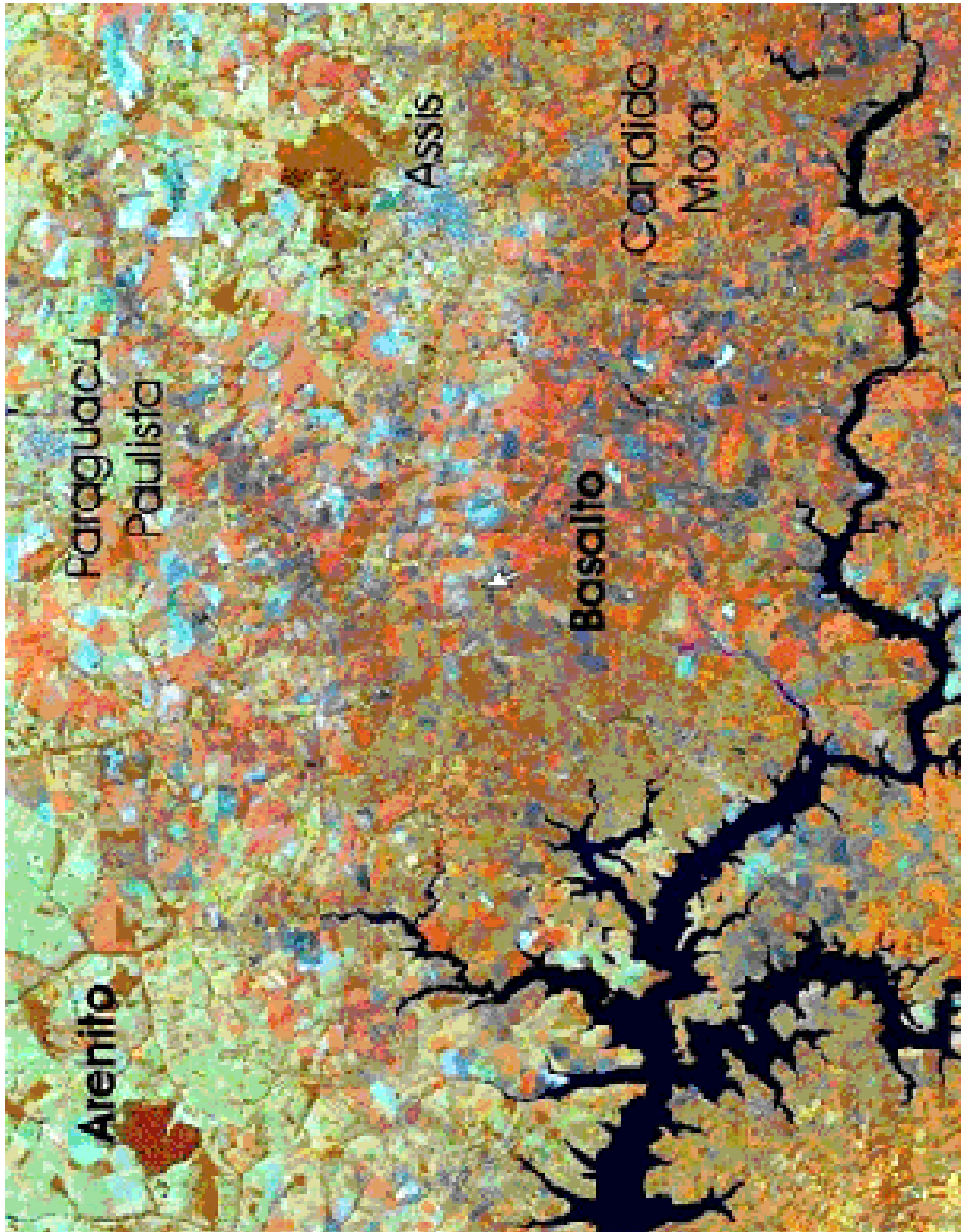
Paulista que abrange uma área de aproximadamente 50% do estado de São Paulo, indo desde a província das Cuestas Arenítico Basálticas até ao limite norte (rio Grande), oeste (rio Paraná) e sul (rio Paranapanema). (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT, 1981b). Com referência ainda aos aspectos geomorfológicos, de acordo com Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT (1981a), em todo o sudoeste do estado de São Paulo encontra-se generalizadamente os seguintes tipos de relevo: colinas amplas, colinas médias, morrotes alongados e espigões, mesas sedimentares, planícies aluviais e terraços fluviais, caracterizado como relevo suave ondulado com declividades médias variando de 3 a 8% (MACHADO et al., 2010). A vegetação primária da área é a Savana (Cerrado ou Cerradão).

Figura 2 – Localização da área de estudo



Fonte: Autora.

Figura 3 –Carta imagem de solos representando a zona transição (onde se insere a área de estudo) do basalto para o arenito em direção ao extremo oeste paulista



Fonte: Autora.

Na região oeste do estado de São Paulo, área de estudo, após a finalização dos derrames de lavas da Formação Serra Geral de idade Jurássico Superior, Cretáceo Inferior, inicia-se a deposição basal dos sedimentos do Grupo Bauru.

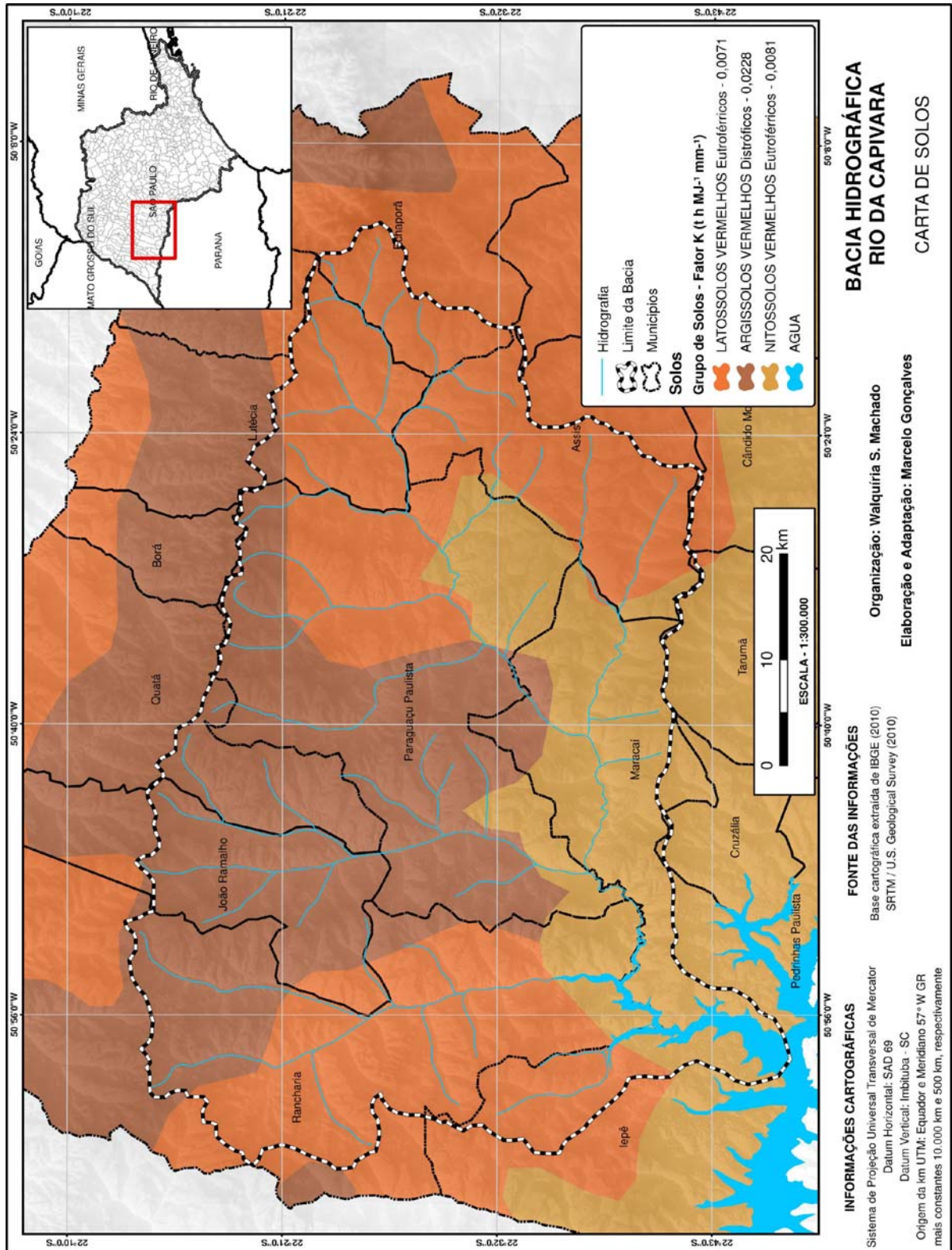
A Formação Caiuá, composta essencialmente de arenitos, indica o início de deposição do Grupo Bauru em uma área restrita, sobrepondo-se aos basaltos da Formação Serra Geral. A área de ocorrência da Formação Caiuá restringe-se ao extremo oeste do estado de São Paulo, mais precisamente ao Pontal do Paranapanema, estendendo-se para norte, acompanhando a margem esquerda do rio Paraná até a confluência de seu afluente, o rio do Peixe. Esta formação caracteriza-se por apresentar uma grande uniformidade litológica. É constituída de arenitos de coloração arroxeadada com notáveis estratificações cruzadas, tangencial na base, de granulação fina a média, bem selecionada, arredondada, sendo composta por quartzo, feldspato, calcedônia e opala, predominantemente quartzosos e, ocasionalmente, subarcosiano (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO, 1981a).

O Planalto Ocidental, inicialmente definido por Moraes Rego em 1932 (UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2012) e reestudado por Deffontaines em 1935 (ASSOCIAÇÃO DOS GEÓGRAFOS BRASILEIROS, 2012), Monbeig em 1949 (ANDRADE, 1994), Ab'saber em 1956 (IEA, 2012), Almeida em 1964 (REVUES, 2012) e só, em 1981, foi subdividido de acordo com seu caráter morfológico, conforme IPT (1981a), que realizou mapeamento geomorfológico na escala 1:1.000.000, ora sintetizado nesta caracterização regional do oeste paulista.

Solos:

Os solos do Oeste do estado de São Paulo, onde está inserida a área de estudo, são derivados das rochas areníticas do Grupo Bauru, em quase toda a sua extensão, e de rochas básicas do Grupo São Bento (Formação Serra Geral) na porção sudoeste da área estudada. Levando em conta as propriedades físico-químicas, estas rochas deram origem a três grupos de solo que correspondem aos Argissolos, Nitossolos, e aos Latossolos Vermelho (Figura 4 e Tabela 8).

Figura 4 – Carta de Solos da bacia do rio Capivara



Fonte: Autora.

Tabela 8 – Classificação de solos na bacia do rio Capivara

Grupo de Solos	Área (ha)	Fator K (t h MJ ⁻¹ mm ⁻¹)
NITOSSOLOS VERMELHO Eutroféricos	757.462	0,0081
LATOSSOLOS VERMELHO Eutroféricos	1.451.861	0,0071
ARGISSOLOS VERMELHO Distróficos	1.222.830	0,0228

Fonte: Autora.

Quanto aos *Argissolos Vermelhos* – apresenta-se em relevos ondulados a fortemente ondulados, localizando-se geralmente nos topos dos espigões. Em locais de baixas altitudes, apresenta-se em relevos suavemente ondulados, com topos ligeiramente arredondados de vertentes convexas e vales em V abertos. A grande diferença está na transição entre o horizonte A para o B, onde é clara ou abrupta devido à maior iluviação de partículas finas do solo (argila), caracterizando o horizonte B textural. Geralmente o horizonte A, quando seco, é mais esbranquiçado, devido à grande quantidade de areia, que contrasta com a cor vermelha no horizonte B. O acréscimo de argila em profundidade e a capacidade de troca de cátions inferior a 27cmol/kg de argila, são os principais atributos diagnósticos para todos os Argissolos (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2011).

Os Argissolos, quando apresentam elevado gradiente textural são muito susceptíveis à erosão, sendo necessários cuidados especiais, principalmente nos arênicos e espessarênicos. Estes solos ocorrem muitas vezes associados aos Latossolos com os quais têm algumas características em comum. Quando comparados com os Latossolos, têm profundidade menor, proporções ligeiramente maiores de silte e de minerais pouco resistentes ao intemperismo, além da mais marcante diferenciação de horizontes.

Nas regiões serranas é comum a presença de afloramentos rochosos associadas a esses solos. Essas características estão geralmente associadas a relevos forte ondulado e montanhoso, o que limita tais solos ao uso agrícola.

Referente aos *Nitossolos Vermelhos*, este tipo de solo tem como rocha matriz as eruptivas básicas do Grupo São Bento (Formação Serra Geral). Apresenta-se em relevos ondulados a suavemente ondulados, com declives suaves de topos ligeiramente planos e vales abertos. Geralmente são solos férteis, argilosos

e bem drenados, com uma espessura de aproximadamente 2,5 metros. O horizonte B apresenta estrutura em blocos subangulares devido à cerosidade forte. Solos constituídos por material mineral que apresentam horizonte B nítico, com argila de atividade baixa imediatamente abaixo do horizonte A ou dentro dos primeiros 50cm do horizonte B. São solos com discreto aumento de argila em profundidade, apresentando, apesar de argilosos, boa drenagem interna (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2011).

Diferem dos Argissolos por possuírem um horizonte B nítico, de coloração vermelho-escura ou bruno-avermelhada, e por não apresentarem horizonte E, possuindo transição gradual entre horizontes. Em condições naturais (ou recém desbravados), estão entre os melhores para agricultura. A vegetação natural mais encontrada sobre os mesmos é a de florestas semicaducifólias.

Quanto ao coeficiente de erodibilidade (K) o Nitossolo Vermelho é considerado muito resistente à erosão, geralmente com valores médios a baixos.

O *Latossolo Vermelho* – fase arenosa é desenvolvida a partir de rochas areníticas. Apresenta-se em relevos suavemente ondulados a ondulados. Nos suavemente ondulados, os topos são achatados com vertentes convexas pouco declivosas, variando entre 2 a 5%. Já nos relevos ondulados, os topos são arredondados com vertentes convexas, cujas declividades variam entre 5 a 15%. Os Latossolos pelas condições físicas e de relevo, quando bem manejados podem refletir em elevada produtividade agrícola. Os perfis destes solos são espessos, com mais de 3 metros, de coloração vermelho- escura, bem drenados, com horizonte B latossólico. A textura varia de argilosa a média. As argilas são predominantemente do tipo caulinita cujas partículas são revestidas por óxidos de ferro os quais são responsáveis pelas típicas cores avermelhadas.

A pequena variação de características morfológicas entre os horizontes faz com que a transição seja gradual e difusa (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2011).

Nos Latossolos, principalmente os de textura argilosa, a baixa atividade das argilas, com pouca expansividade e contratibilidade, os tornam bastante apropriados para o uso agrícola.

A fase arenosa do Latossolo é caracterizada por ter uma textura fina a média, alta porosidade e permeabilidade, teores de argila em torno de 15 %, com tendência a aumentar em profundidade, podendo chegar a 26%, com mais de 70%

de areia. São, portanto, solos arenosos, profundos, com boa drenagem. Estas características conferem a estes solos grande sensibilidade à erosão, embora ocupem posição preferencial em relevo de colinas amplas, que não favorecem o escoamento e compensam a fragilidade dos mesmos (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA 2011).

Clima:

O clima, segundo a classificação de Köppen, é subtropical mesotérmico (Cwa), caracterizado por verões quentes e chuvosos com temperaturas médias superiores a 22°C, e invernos com temperaturas médias inferiores a 18°C, possuindo estações bem definidas, e uma precipitação média anual de 1.359 mm. A distribuição das chuvas na grande maioria dos postos pluviométricos da região está comprometida com as características da sazonalidade típica dos climas tropicais continentais (BOIN, 2000).

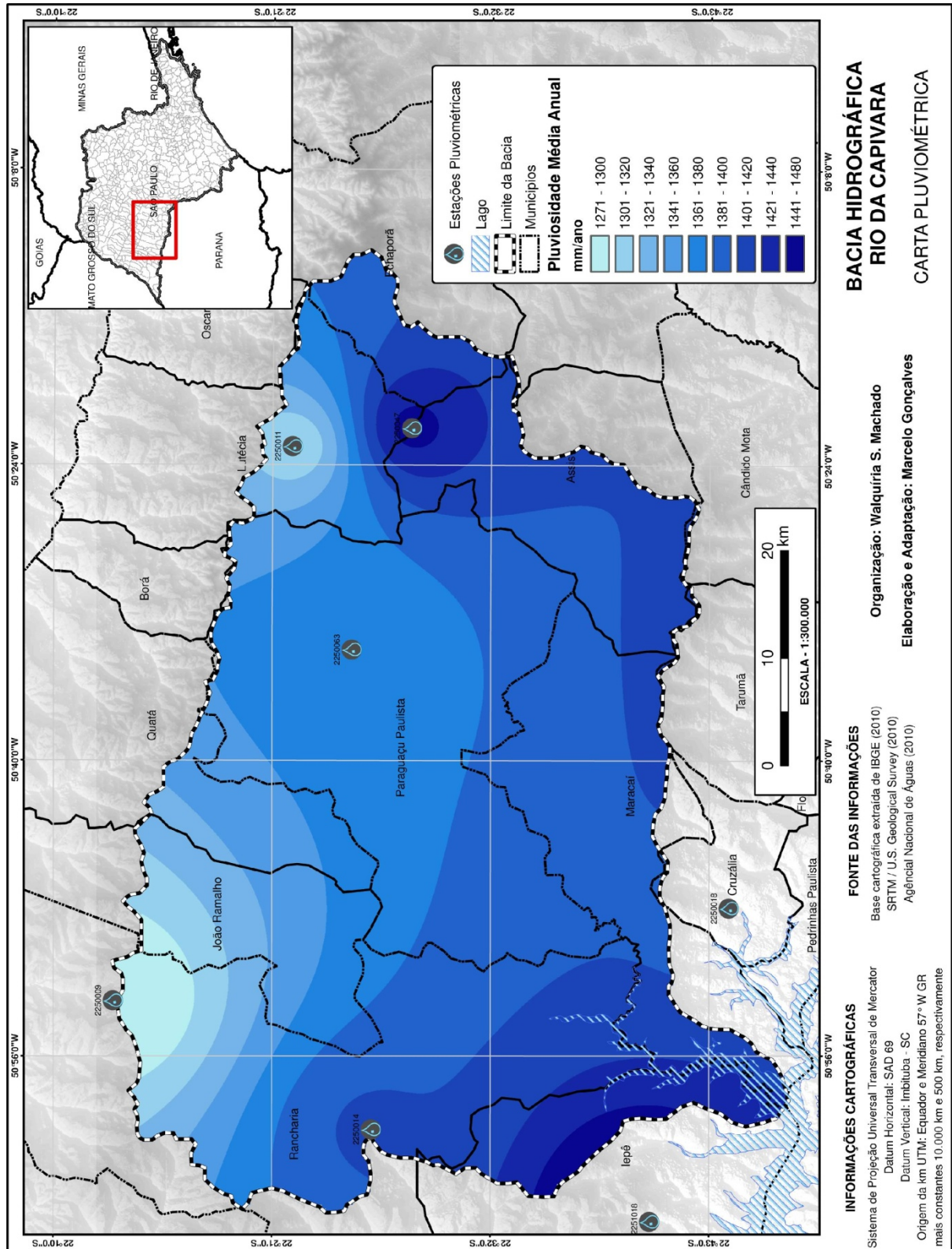
Em média, cerca de 60% a 70% dos totais anuais de precipitação na região de estudo se concentram na estação chuvosa que dura de outubro a março, notadamente nos meses de dezembro a fevereiro quando é realizado o plantio da cana planta. As correntes de sul trazem muita instabilidade que, associada ao deslocamento das massas tropicais e equatoriais continentais, despejam chuvas abundantes e de média a forte intensidade (Figura 5).

A cana-de-açúcar cresce bem em áreas que recebem energia solar de 18 - 36 MJ/m². Sendo uma planta C4, a cana-de-açúcar é capaz de produzir altos índices fotossintéticos e o processo mostra uma variação de alta saturação em relação à luz.

Numa estação longa, quente com alta incidência de radiação solar e umidade adequada (chuva) - a cana-de-açúcar usa de 148 a 300g de água para produzir 1.0g de substância seca.

Neste aspecto, Brunini (2008) afirma que no caso da cultura da cana-de-açúcar, ao longo de seu ciclo vegetativo sofre bastante com variações climáticas e para a produção de açúcar essa cultura é muito mais exigente a temperatura do ar e a distribuição de chuvas.

Figura 5 – Carta de pluviosidade da bacia do rio Capivara



Fonte: Autora.

Na carta acima, observa-se que a pluviosidade média anual é de 1.382 mm/ano (2010) em toda a região da bacia com a mesma intensidade, a despeito da homogeneidade da paisagem, visto que esta área se encontra em uma

faixa de transição zonal dos climas globais (BOIN, 2000). Desta forma, os fatores geográficos muitas vezes resultam de maior influência dos que aqueles de escala regional ou global, na produção das chuvas.

Conforme estudos de Boin (2000), Sant'anna Neto e Zavatinni, (2000), considera-se que a variabilidade das chuvas no oeste paulista, ainda não revela qualquer tipo de influência do aquecimento global em sua estrutura, muito menos qualquer forma de interferência dos lagos derivados da construção das grandes barragens artificiais que se localizam no sudoeste paulista, fazendo limite com o estado do Paraná, no rio Paranapanema (Taquaruçú, Capivara e Rosana e Porto Primavera no rio Paraná) nas últimas décadas.

3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A conjugação dos fatores ocupacionais aliada às características do meio físico e à concentração populacional nos divisores de água das principais bacias hidrográficas do estado de São Paulo, e seus consequentes impactos sobre o meio ambiente desta porção do estado, têm chamado a atenção da comunidade técnica e científica sobre esta área.

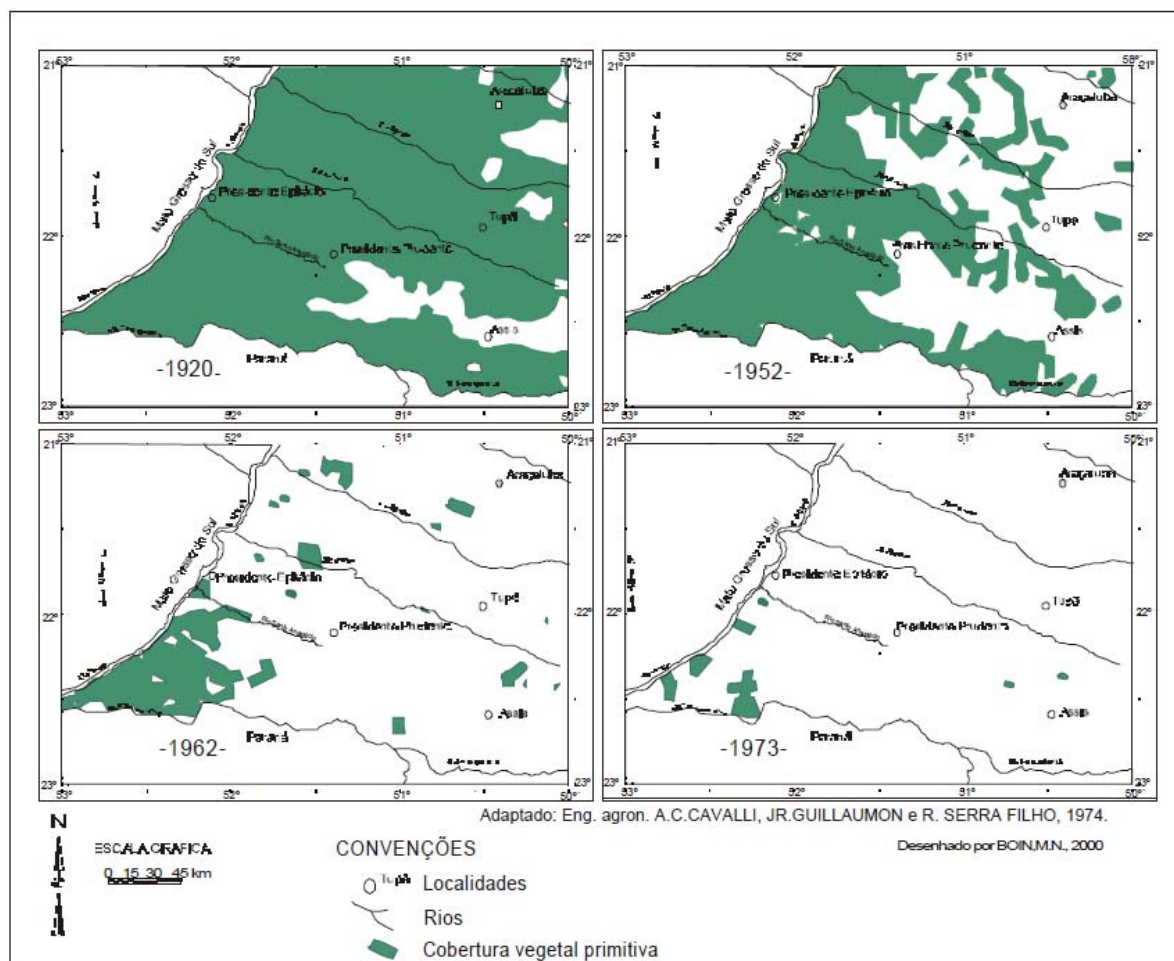
O Oeste Paulista, localizado em uma zona de transição climática compartilhada pelos sistemas atmosféricos inter e extratropicais, vem, há muito tempo, merecendo a atenção de vários autores, quanto à sua dinâmica climática, que visa mostrar os fenômenos pluviais que nela ocorrem. Grande parte destes estudos versa sobre a gênese pluvial, mas não considera a intensidade causada pelos eventos pluviais ocasionadores de impacto no meio ambiente físico (SANT'ANNA NETO; ZAVATINNI, 2000).

A região oeste do estado de São Paulo, onde se insere a área de estudo, sofreu intensas transformações antropogênicas, ocasionadas pela ação de grileiros e especuladores imobiliários, ocupada pelos cafeicultores e ainda atravessada por ferrovias; grandes consumidoras de lenha; tendo sua vegetação natural, com predomínio de matas, rapidamente extinta e substituída por culturas e pastagens.

Um levantamento publicado por Dean (1996) em 1920, o Oeste Paulista ainda dispunha de cobertura de matas na maior parte de sua área. Outro estudo apresentado por Ferreira (1988) demonstra, que no espaço de cinquenta

anos (1920 a 1970), a vegetação natural ficou reduzida a alguns fragmentos de mata no extremo Pontal do Paranapanema⁶, situando-se, a maior concentração desta vegetação natural, em 1973, na reserva do Morro do Diabo, no município de Teodoro Sampaio (Figura 6).

Figura 6 – Evolução da destruição da cobertura florestal primitiva no Oeste Paulista



Fonte: Boin (2000).

Os dados de mapeamento do desmatamento realizado por satélite entre 1977 e 2010, mostram que a bacia do rio Capivara teve sua cobertura suprimida, o que indica uma preocupação no que diz respeito aos índices de área de preservação permanente para este período.

Na Carta de Vegetação atual da bacia do Rio Capivara (Figura 7)., pode-se observar que os índices de vegetação encontram-se reduzidos em 2010,

⁶ Pontal do Paranapanema - localiza-se no extremo oeste do estado de São Paulo, ou da Alta Sorocabana, mais especificamente na foz dos rios Paraná e Paranapanema (LEITE, 1981).

onde num total de 100% de vegetação, apenas 2,51% é composto por área de preservação permanente, e 97,49% restantes, compõe áreas de reserva legal e remanescentes florestais (Tabela 9).

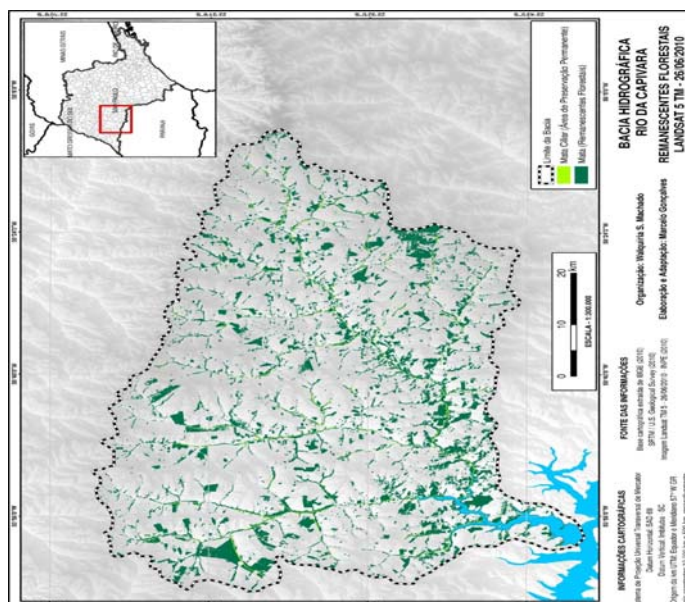
Tabela 9 – Índices de vegetação atual da bacia do rio Capivara

Classe	Área (km ²)	%
Mata	342,94	97,49
Mata Ciliar	8,82	2,51
Total	351,76	100,00

Fonte: Autora.

Com apenas 10,25% do total da área da bacia (351,76 km²) ocupado por Mata e Mata Ciliar, verifica-se que este resultado está em acordo com Domingues et al. (1998); Leite (1973); Francisco (1989) que em função da frente pioneira de expansão em busca de solos férteis a vegetação do oeste do estado de São Paulo foi quase que totalmente retirada, causando um desmatamento quase total de sua vegetação natural.

Figura 7 – Carta de vegetação atual (dados levantados em 2010) da bacia do rio Capivara.

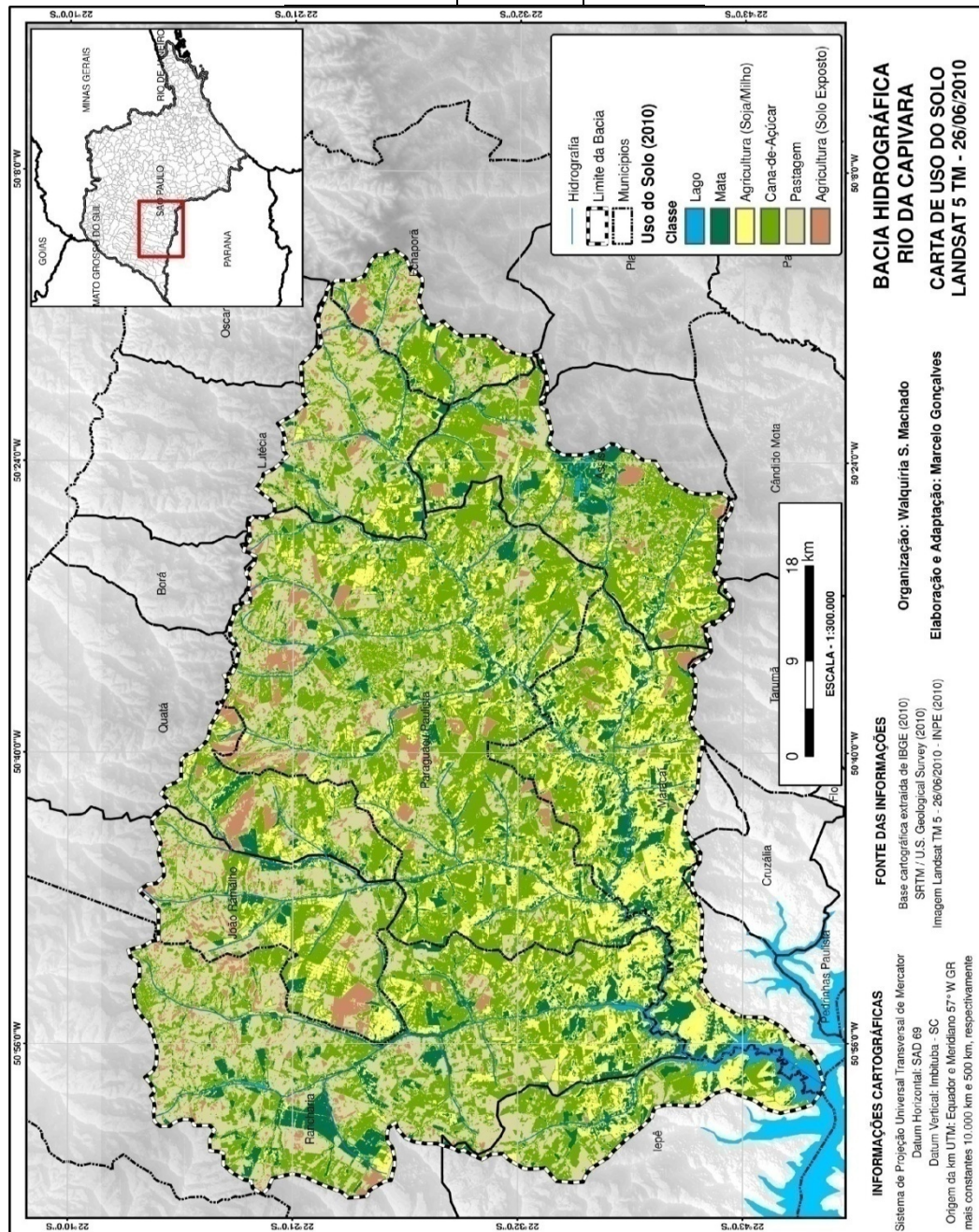


Fonte: Autora

A Figura 8 ilustra o uso e a ocupação do solo anterior à expansão da cana-de-açúcar na bacia do Rio Capivara (1977), juntamente com as divisões das

Figura 9 – Carta de uso do solo na bacia do rio Capivara no ano de 2010

Classe	Área (km ²)	%
Lago	44,04	1,28
Mata	351,76	10,25
Pastagem	874,80	25,49
Agricultura (grãos)	757,57	22,07
Cana-de-Açúcar	1.220,57	35,56
Total	3.432,23	100,00



Fonte: Autora.

As cartas de uso do solo na região da bacia do rio Capivara (Figuras 8 e 9) mostram que em 1977 a área era predominantemente utilizada com pastagem (2.056,66 km² / 59,91% do total), seguida por agricultura de grãos (355,28 km² / 10,35% do total) e apenas 148,24 km² / 4,32% do total utilizada com cana-de-açúcar. Em 2010, a área da bacia do rio Capivara passou a ser utilizada predominantemente com cana-de-açúcar (1.220,57 km² / 35,56% do total) com uma área de 1.072,30 km² correspondendo a um aumento de 31,24% em relação a 1977 e com agricultura de grãos (principalmente milho e soja), com uma área de 757,57 km² correspondendo a um aumento de 11,72% em relação a 1977.

Por outro lado, a área de pastagem foi reduzida em 34,42%, passando para 874,80 km². Portanto, entre os tipos de uso do solo, os que mais cederam áreas nesse período foram áreas de pastagens degradadas e mata nativa com uma redução de 13,89% em 33 anos.

O aumento das áreas com cana em detrimento das áreas com mata nativa verificado neste trabalho é consequência de um somatório de fatores que envolvem fatores ambientais: climáticos e de solo, que favorecem o estabelecimento e alta produção de culturas semi-perenes como a cana-de-açúcar e fatores financeiros, representados pela baixa rentabilidade da atividade pecuária extensiva tradicional nas últimas décadas.

Como relatado por Theodoro (2011), a cana-de-açúcar deslocou a pecuária para outras regiões, o que provocou o desmatamento por meio de novas ocupações. Na visão de Sparovek, Maule e Burg (2008) um dos fatores esperados para a expansão da cana-de-açúcar é a continuidade no deslocamento da pecuária na área de expansão. O autor ainda salienta que São Paulo e região Centro-Sul são regiões indicadas para futuras expansões devido às condições já mencionadas além do mercado potencial para co-geração de energia elétrica.

Nestas fronteiras estão as maiores áreas de pastagens do Brasil, o suficiente para que não só o setor canavieiro, mas também outros produtos agrícolas se expandam. É importante a previsão de como a expansão da cana-de-açúcar irá interagir com a pecuária (deslocando, competindo, coexistindo, integrando), pois isto pode influenciar nos impactos sobre o meio ambiente.

Conforme Sparovek, Maule e Burg (2008) lavouras de cana-de-açúcar e pastagens não se situam na mesma região. Essa realidade acontece na área de estudo, pois, pastagens que antes estavam degradadas, e com a pecuária

em constante declínio, foram arrendadas por um valor muito superior, deslocando os pecuaristas para outras áreas, ou até mesmo, transformando-os em plantadores de cana, ou apenas arrendatários.

O prevalecimento de uma única cultura causa alterações nas paisagens. As cartas de uso do solo mostram que na região da bacia do rio Capivara a produção de cana-de-açúcar prevalece sobre outras culturas. A contraposição a esse padrão de organização territorial dependerá da integração entre a produção de cana-de-açúcar com lavouras degradadas ou outro tipo de uso do solo nas áreas de expansão levando em conta tanto o grande como o pequeno produtor.

Camargo et al. (2008) estudando aspectos da expansão da cultura da cana-de-açúcar no estado de São Paulo, observaram novas configurações regionais das explorações agropecuárias, principalmente na região oeste. Apesar da queda de áreas com culturas alimentares serem significativas em algumas regiões, no total geral do estado ainda pouco afetou a produção de alimentos (SATOLO; BACCHI, 2009).

Nesse sentido, estes resultados corroboram com um estudo realizado pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2010), indicando que a expansão de cana-de-açúcar em todo o estado de São Paulo, entre os anos 2000 a 2007 ocorreu majoritariamente em áreas de pastagem (64,72%), seguidas por áreas de milho e soja (21,83%) e por novas áreas (2,4%). Fato comum entre este trabalho e o estudo apresentado pela CONAB é que a expansão recente da cana-de-açúcar ocorreu sobre áreas antropizadas, diminuindo o impacto ambiental da conversão no uso e na ocupação do solo.

Estes resultados também demonstraram a preocupação ambiental, aprendida pelos produtores rurais com as perdas de solo por erosão e às leis ambientais rígidas do setor, no que diz respeito à preservação da mata ciliar e a erradicação das queimadas, levando-os a adotar a técnica de plantio em curva de nível, para evitar a erosão, a criação de um viveiro de mudas para suprir a necessidade de replantio de árvores não só por causa do solo, como também para preservação de rios e nascentes.

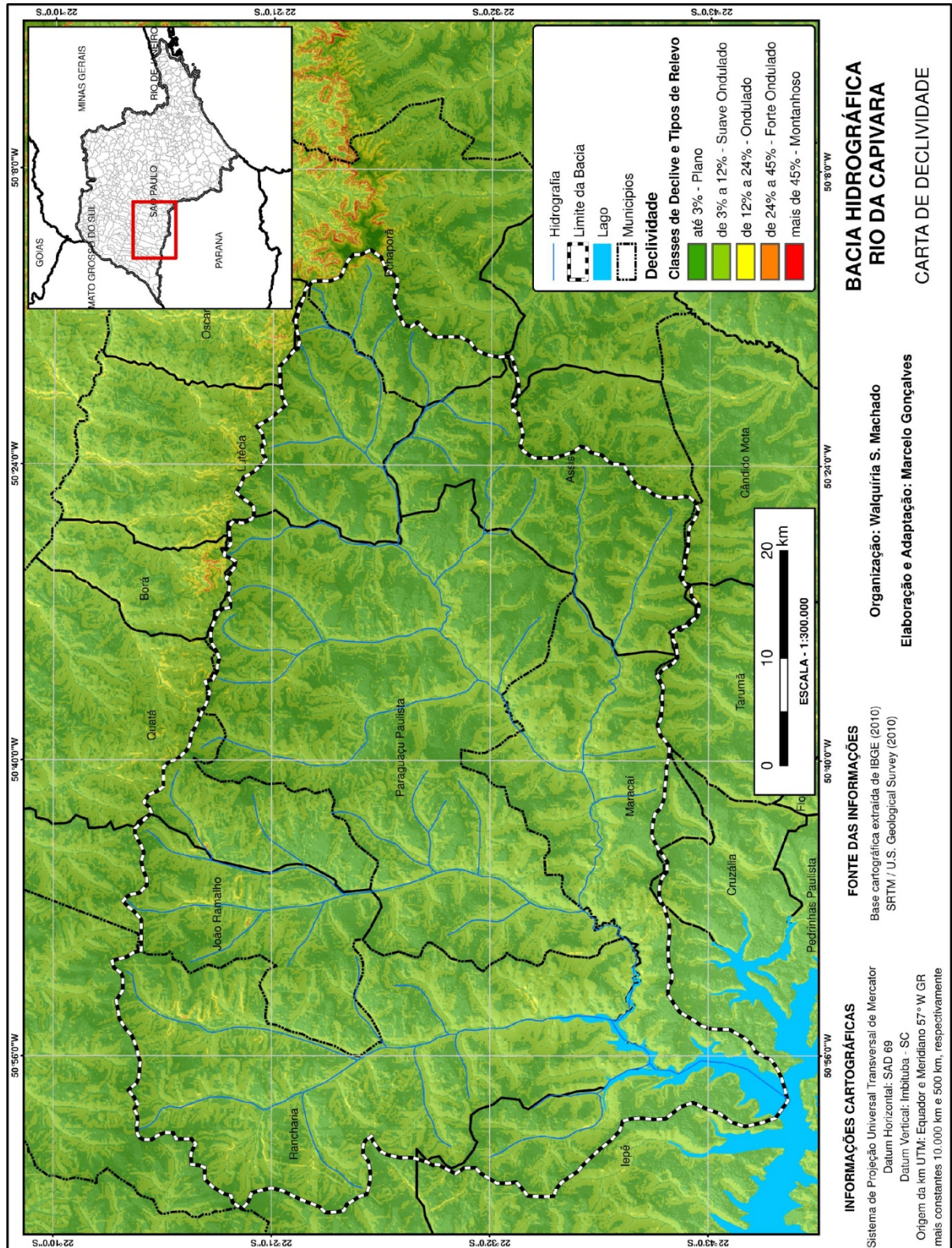
Fato este, de grande importância pelo volume de água utilizado nas usinas daquela época (década de 1970), 20.000 litros por tonelada de cana moída (FAZENDA RANCHO ALEGRE, 2011). Entretanto, não existia ainda a nítida consciência da finitude desse elemento, a água. Tanto que, depois de usada, ela era

devolvida ao rio sem qualquer tratamento, mesmo porque não havia ainda tecnologia disponível para tratá-la no retorno.

Ao observar a Carta de Declividade (Figura 10) da bacia do Rio Capivara, pode-se observar que esta possui 99,27% de suas terras com declividade menor que 12%, o que permite uma maior mecanização agrícola.

Para se trabalhar com segurança em culturas mecanizadas, como o caso da cultura de cana-de-açúcar, a declividade máxima deverá estar no máximo 12%, e acima desse limite apresentam restrições às práticas mecânicas, de acordo com Demattê (2008), Ranieri, Barretto e Klug (2007). Neste contexto, apenas 0,73% da área total da bacia do rio Capivara não proporciona condições favoráveis para práticas mecanizadas, ou seja, apresentam declividade maior que 12%. Por outro lado, as áreas aptas ao cultivo mecanizado abrangem um total de 99,27% da área, estando aptas para qualquer tipo de cultura.

Figura 10 – Carta de declividade da bacia do rio Capivara



Fonte: Autora.

Com base na carta de Declividade (Figura 10) foram definidas e quantificadas as áreas das classes (Tabela 10).

Tabela 10 – Índices de declividade da bacia do rio Capivara

Classes de Declividade	Área (km²)	%
Até 3%	1.629,93	47,49
Mais de 3% até 12%	1.777,20	51,78
Mais de 12% até 24%	24,37	0,71
Mais de 24% até 45%	0,56	0,02
Total	3.432,06	100,00

Fonte: Autora.

Observa-se que a declividade é o principal fator do relevo condicionante da erosão. Sua variação determina formas e feições da paisagem, ditando também as potencialidades de uso e restrição ao aproveitamento das terras. Desse modo, a expansão do cultivo da cana na região da bacia se deu também, dentre outros fatores, devido ao relevo favorável, onde a erosão hídrica não oferece problema e somente as práticas de conservação são necessárias, exceto em solos muito arenosos, com comprimento de rampa muito longo, o que não é o caso da área de estudo.

No caso da erosão dos solos, é necessário que se conheçam as características geológicas, geomorfológicas, pedológicas e climáticas da área em estudo. A declividade das vertentes e as características intrínsecas dos solos são fatores importantes na compreensão dos processos erosivos. Mas é o clima, mais especialmente a sucessão de eventos pluviais, bem como sua intensidade e duração, que ocasionam os impactos que favorecem a erosão (BRUNINI, 2008).

Os processos erosivos geralmente se instalam em áreas onde há uma conjunção de fatores que os tornam suscetíveis. Entre estes fatores merecem destaque: a atividade antrópica ou uso do solo, a pedologia, a geologia, o clima, o relevo, etc (DOMINGUES et al, 1998).

Neste contexto, o estudo das relações entre o clima e a erosão implica, necessariamente, a representação de todos estes elementos. Ainda hoje, parte dos estudos sobre erosão privilegia enfoques sobre a erodibilidade⁷ dos solos,

⁷ Erodibilidade = Suscetibilidade que os solos têm em ser erodidos. As propriedades químicas e físicas dos solos influenciam na sua erodibilidade, facilitando ou dificultando a ação da energia cinética das águas das chuvas e do escoamento superficial (SILVA et al., 1999).

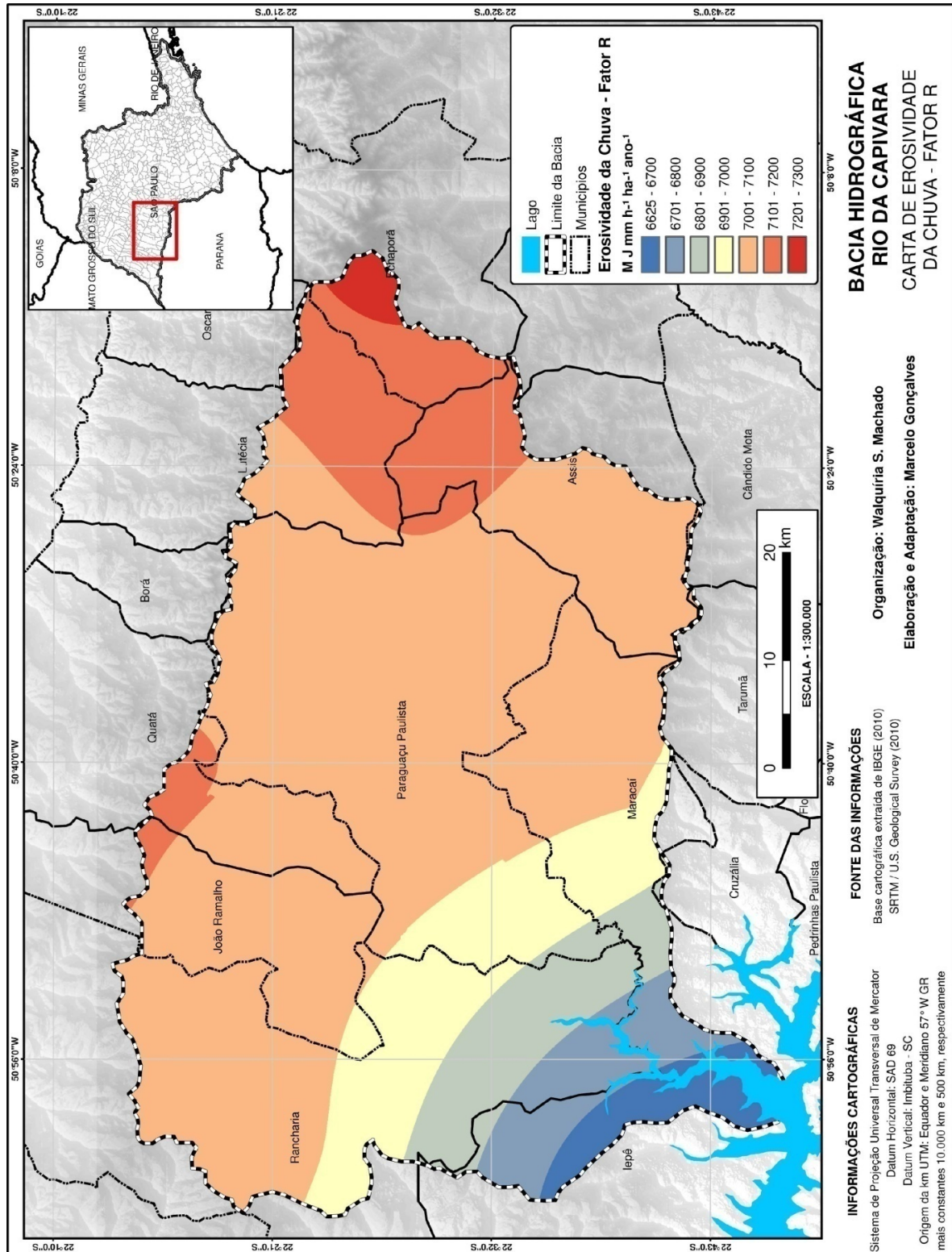
em detrimento do estudo da erosividade⁸ das chuvas. Esta tendência determina um distanciamento do conhecimento da dinâmica atmosférica e do seu papel na gênese, distribuição e intensidade das chuvas, causadoras dos processos erosivos.

O clima, principalmente no que se refere à variabilidade e irregularidade das chuvas, assume um papel extraordinariamente decisivo no entendimento da erosividade. Neste sentido, foi elaborada a Carta de Erosividade da Chuva (Fator R) da bacia do rio Capivara (Figura 11), já que os temas, clima e erosão estão interligados.

Para obtenção do valor anual do fator R consultou-se o banco de dados “Erosividade – Brasil” (SILVA; CABEDA, 2006). Uma vez que há uma inexpressiva variação espacial da altura pluviométrica anual ($\approx 2\%$) ao longo da área de estudo e isto pode ser considerado também para a erosividade. Considerou-se um único valor de erosividade anual para toda a área de estudo Valor de $R = 5.309,0 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

⁸ Erosividade = Capacidade potencial de um agente qualquer (água, vento, gravidade, etc.) em provocar erosão (SILVA et al, 1999).

Figura 11– Carta de erosividade da bacia do rio Capivara



Fonte: Autora.

O valor anual da erosividade de 5.309,0 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ é considerado “médio-forte” segundo tabela de interpretação apresentada por Carvalho (1994). Os dados de pluviometria, disponibilizados pela Carta de

Pluviosidade (Figura 5), mostra uma variação pouco expressiva do volume de precipitação na área que compreende os valores de 7001 a 7200.

A água é o principal agente erosivo dos solos. A intensidade da chuva e a sua precipitação total são os fatores que influenciam na sua capacidade de provocar erosão (LEITE, 2007; BRUNINI, 2008). No entanto, na bacia do rio Capivara, embora hajam as ocorrências de chuvas moderadas a forte os processos erosivos não ocorrem acentuadamente, portanto não se constituem em fatores que hoje influenciam a erosividade na região. Isso porque os produtores utilizam de técnicas de conservação de solos.

No caso do uso do solo na bacia do rio Capivara, as pastagens dominavam 59,91% do total da área na década de 1970, sendo que, naquela época não haviam preocupações com os processos erosivos principalmente nos pastos, onde estes eram utilizados até a sua exaustão total, acarretando assim, o aparecimento de muitas voçorocas.

Assim, naquela época, a exploração indevida dos recursos naturais, sem planejamento e conhecimento de suas reais possibilidades, fez da erosão um fenômeno comum nesta região, ocasionando a perda de toneladas de solo por ano, a alteração da qualidade e quantidade de água e a sedimentação dos cursos d'água.

Segundo Domingues et al. (1998), nessa região onde esta inserida a bacia, a chuva concentrada de média intensidade provocou inundações, assoreamento de reservatórios, destruição de pontes e plantações, com altos prejuízos naturais e sócio-econômicos.

Contudo, os resultados desta pesquisa, apontam que uma atividade de erosões intensas não ocorrem mais nesta área nos dias de hoje (2010). Já que a declividade é totalmente favorável às atividades agrícolas, em se tratando de um relevo quase que totalmente plano, e as práticas de uso e conservação do solo são adotadas em toda a extensão de terras agricultáveis da bacia.

A carta de uso do solo do ano de 2010 (Figura 9) apresenta exatamente o contrário da realidade do uso do solo da década de 1970 (Figura 8), onde, suas áreas de pastagens degradadas cederam lugar para agricultura (57,63%), sendo esta utilizada com o devido manejo sustentável do solo, como o sistema de plantio direto, evitando assim perdas de solo por erosão hídrica.

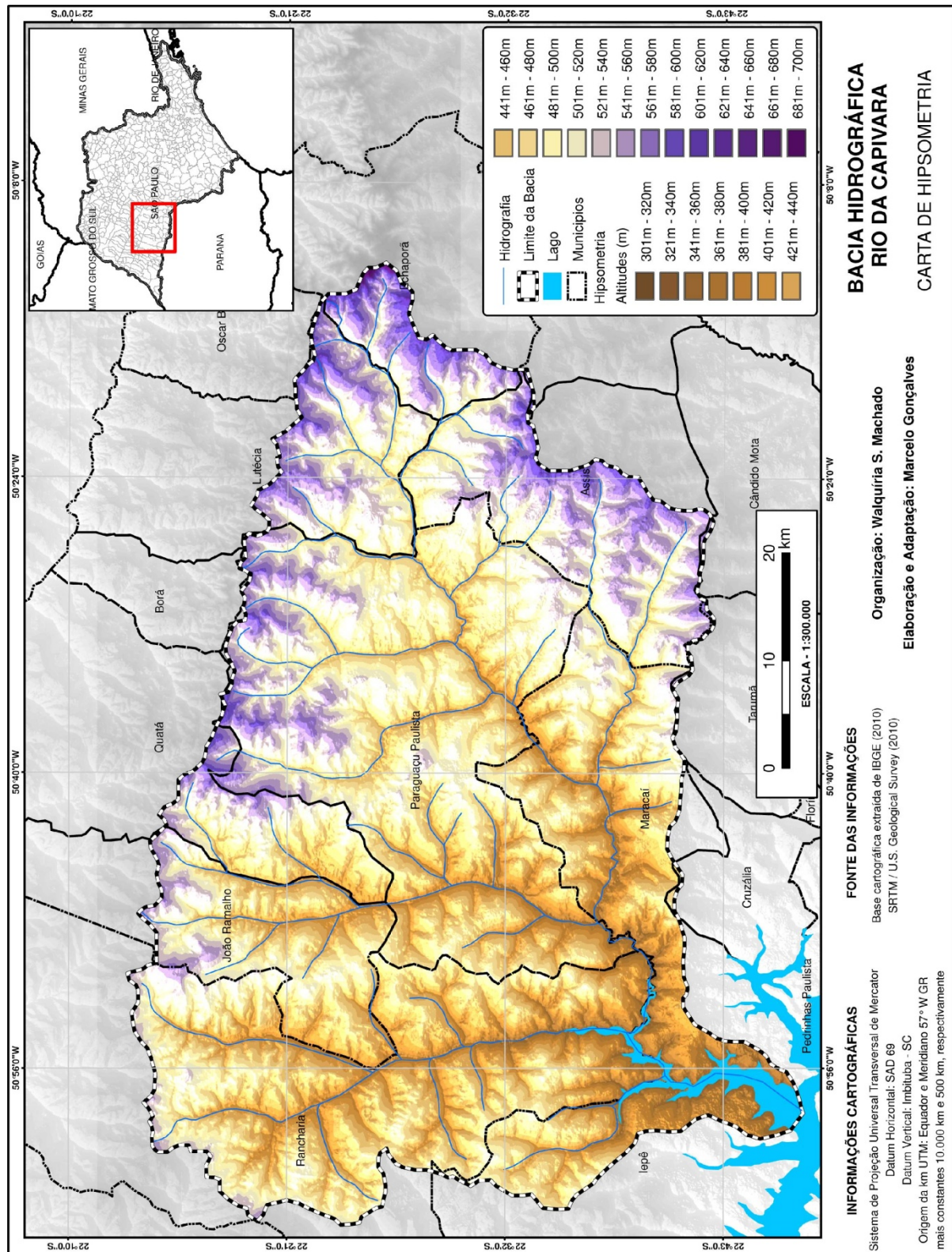
A cobertura vegetal proporcionada pelo sistema de plantio direto na palha adotado nas lavouras de grãos e cana-de-açúcar funciona como uma proteção

do solo, pois diminui o impacto das gotas de chuva e conseqüentemente impede ou minimiza a ocorrência da desagregação dos solos.

Além desse efeito dispersante de energia, a cobertura vegetal também ajuda na taxa de infiltração, retardando o escoamento superficial devido à abertura de poros no solo pelas raízes. Outra influência da cobertura vegetal é a incorporação de matéria orgânica ao solo, como é o caso da mecanização da colheita de cana em praticamente 70% da área, onde esta palha que não é queimada permanece no solo, protegendo-o dos processos erosivos.

Ao analisar os dados hipsométricos da bacia do rio Capivara (Figura 12 e Tabela 11) respectivamente observa-se que existe um predomínio de altitudes de 380m a 560m, consideradas médias, ou seja, a maior parte de sua área está inserida nesta faixa hipsométrica, não dificultando, portanto, as atividades agrícolas, e principalmente a sua mecanização. A altitude do local é um fator que deve ser levado em consideração para o cultivo de certas espécies vegetais, pois, influencia diretamente na temperatura.

Figura 12 – Carta Hipsométrica da bacia do rio Capivara



Fonte: Autora.

Tabela 11 – Valores hipsométricos da bacia do rio Capivara

Classes de Hipsometria	Área (km²)	%
300m a 320m	2,01	0,06
321m a 340m	45,50	1,33
341m a 380m	59,68	1,74
361m a 380m	110,21	3,21
381m a 400m	159,89	4,66
401m a 420m	256,40	7,47
421m a 440m	371,31	10,82
441m a 460m	455,16	13,26
461m a 480m	489,62	14,27
481m a 500m	419,73	12,23
501m a 520m	351,60	10,24
521m a 540m	299,34	8,72
541m a 560m	224,56	6,54
561m a 580m	130,01	3,79
581m a 600m	46,09	1,34
601m a 620m	7,18	0,21
621m a 640m	1,64	0,05
641m a 660m	0,54	0,02
661m a 680m	1,01	0,03
681m a 700m	0,71	0,02
Total	3.432,18	100,00

Fonte: Autora.

Sabe-se que o desenvolvimento da cana-de-açúcar está intimamente ligado à temperatura. A temperatura ideal para brotação de cortes no caule é de 32° a 38°C. Temperaturas acima de 38°C reduzem a fotossíntese e aumentam a respiração. Para amadurecimento, as temperaturas devem ser relativamente baixas (12° a 14°C são desejáveis), pois diminui o desenvolvimento vegetativo e aumenta a sacarose da cana. Em temperaturas altas uma reversão da sacarose em frutose e glicose pode ocorrer além do aumento da fotorespiração, o que diminui o acúmulo de açúcares.

O relevo da bacia mostra forte imposição estrutural, sob o controle de camadas sub-horizontais, com leve caimento para leste, formando uma extensa plataforma estrutural suavizada, com cotas entre 250 e 600 metros

Estudos mostram que a variação geográfica do terreno, com altitudes muito variáveis, colaboram para que a probabilidade de ocorrência de geada seja diferente entre um lugar e outro (COELHO NETTO, 1994), tendo em vista que a altitude influencia no comportamento dos fenômenos climáticos, principalmente a temperatura, o que não é o caso desta área de estudo, pois, grande parte da bacia encontra-se numa faixa de altitudes moderadas.

Quanto maior a altitude, menor a temperatura local e vice-versa. Uma área montanhosa ou um escarpamento pode barrar a ação de ventos úmidos, provocando chuvas locais, também denominadas "chuvas orográficas ou de relevo". Esse fenômeno ocorre pelo resfriamento que o ar sofre ao se elevar em consequência da barreira do relevo, o que provoca a condensação da umidade que ele transporta (BRUNINI, 2008).

Verifica-se na carta hipsométrica da bacia do rio Capivara, que de 460 a 525 metros (classes correspondentes aos fundos de vale principais e ao terço inferior das vertentes) a ocorrência da erosão é mais restrita. Porém, segundo Lepsch (2002), entre 525 e 625 metros são mais suscetíveis à erosão. Tais altitudes correspondem a relevos mais escarpados que compõe uma pequena parte da borda da bacia às colinas subjacentes.

Os atributos topográficos ou características da vertente de uma bacia hidrográfica estão entre uma série de fatores controladores da distribuição dos processos erosivos. Sua importância à erosão advém do fato da topografia condicionar a intensidade e direção dos fluxos hídricos pluviais, que por sua vez são os principais agentes erosivos no meio tropical úmido (SÃO PAULO, 1990; COELHO NETTO, 1994; GUERRA, 1994; LEPSCH, 2002; TORRADO; LEPSCH; CASTRO, 2005).

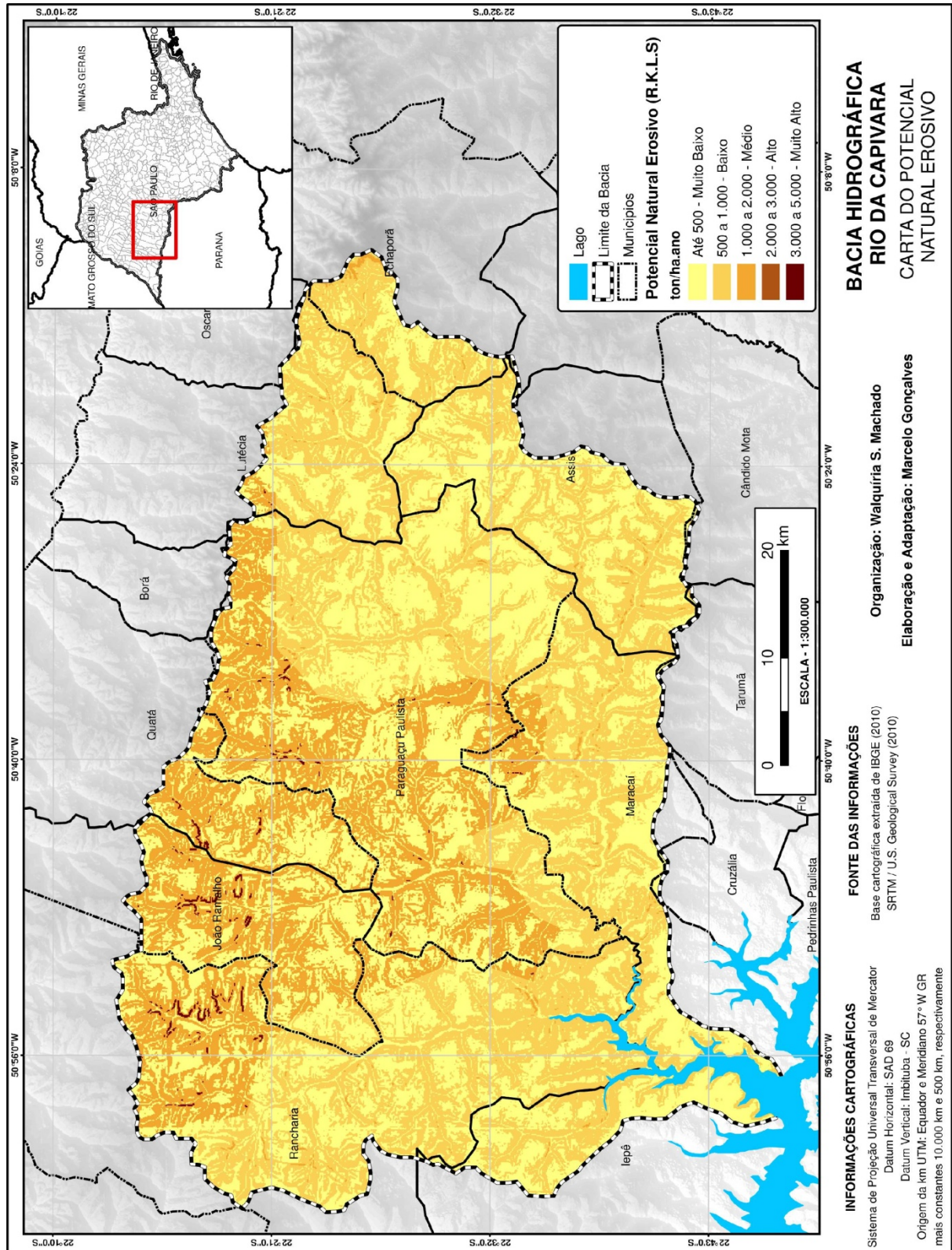
Uma das técnicas mais eficientes para fornecer subsídios à seleção de áreas prioritárias, do ponto de vista de conservação e recuperação do solo, é a utilização de mapas de potencial erosivo, os quais poderão mostrar a expectativa de perda de solo sob sistemas de ocupação da terra e o zoneamento básico das áreas de restrição à ocupação (PEDRO; LORANDI, 2004; GUERRA; GUIMARÃES; SANTOS, 2007; RIBEIRO; CAMPOS, 2007).

Segundo estudos de Campos, Machado e Stipp (2005), em microbacias hidrográficas do município de Londrina, o mapa de potencial erosivo, por si só, pode ser considerado um instrumento muito importante para o planejamento e gestão da bacia, pois de forma simples aponta as áreas com maior predisposição física à erosão laminar e conseqüentemente a outros tipos de erosão (sulcos, ravinas entre outros).

Vários são os métodos de investigação da suscetibilidade do meio físico ao processo erosivo. Há métodos que contemplam os três fatores fundamentais do ambiente físico envolvidos na avaliação do risco de erosão: topografia, clima e solo (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1990). Lobo, Lozano e Delgado (2005) utilizaram um método que utiliza uma equação e também ábacos para determinação de características hidrológicas do solo, agressividade climática e também o fator declividade da encosta. Valério Filho (1994), Bueno e Stein (2004), Pedro e Lorandi (2004), Alvares e Silva (2005) e Zaroni (2006) determinaram o Potencial Natural de Erosão (PNE) o qual corresponde à metodologia utilizada neste estudo.

A Figura 13 e a Tabela 12 mostram, respectivamente, as proporções de ocorrência e a espacialização de cada classe interpretativa do Potencial Natural Erosivo. Similar à declividade, verifica-se que a classe que indica maiores valores de perda de solo ocorre predominantemente também na porção norte da bacia.

Figura 13– Carta de potencial natural erosivo



Fonte: Autora

Na Carta de Potencial Erosivo Natural da bacia do rio Capivara, foram definidas cinco classes de suscetibilidade à erosão, de acordo com as

unidades morfopedológicas, nas quais são considerados aspectos como: geologia, geomorfologia e pedologia. Neste levantamento, foram, ainda, relacionados os locais de ocorrência das principais classes e os processos erosivos a ela relacionados.

Analisando os resultados obtidos, na aplicação da metodologia para a obtenção do potencial erosivo da área de estudo, observou-se o predomínio de terrenos com baixo a médio potencial erosivo, ocupando cerca de 99,68% da área total da bacia (Tabela 12) e distribuindo-se homoganeamente. Os terrenos com alto e muito alto potencial erosivo ocupam apenas 0,31% da área total da bacia, e encontram-se nas áreas mais altas e declivosas, enquanto aqueles com baixo potencial erosivo predominam nas áreas mais baixas e de relevo mais suave.

A bacia do rio Capivara está inserida nas classes muito baixo á médio (500 a 2000) (Tabela 12), sendo esses valores um ótimo fator, pois, há uma predominância de culturas agrícolas, principalmente a cana-de-açúcar, não necessitando assim, de maiores preocupações com os riscos de erosão.

Tabela 12 – Potencial natural erosivo da bacia do rio Capivara.

Potencial Erosivo		Área (km ²)	%
Até 500	Muito Baixo	1.627,63	47,468
500 - 1000	Baixo	1.125,11	32,812
1000 - 2000	Médio	665,40	19,406
2000 - 3000	Alto	10,61	0,310
3000 a 5000	Muito Alto	0,17	0,005

Fonte: Autora.

Ao observarmos a carta de potencial erosivo (Figura 13) e a carta de solos (Figura 4) percebemos que a classe de médio potencial erosivo, encontra-se exatamente nas áreas onde predominam os Argissolos Vermelhos os quais possuem características de restrição de uso agrícola e necessitam de técnicas de manejo adequadas para controle de erosão.

A carta de potencial erosivo da bacia do rio Capivara contribui para se compreender o padrão de drenagem da área, característico das formas de relevo e altitude e, de como se dá o escoamento superficial.

Diante dos dados apresentados, pode-se observar que os solos da bacia do rio Capivara possuem de muito baixo á médio potencial erosivo, motivo

pelo qual uma eventual erosão poderá ser facilmente controlada e em especial os Latossolos e os Nitossolos, onde predominam nas classes de baixo e muito baixo potencial erosivo da bacia.

É interessante observar que o Latossolo Vermelho, recobre predominantemente as colinas amplas com declividade máxima de 3%, apresentando alta porosidade e permeabilidade, podendo resistir a elevados níveis de pluviosidade, sem apresentar maiores problemas de erosão.

Já os Argissolos, que se associam predominantemente ao relevo de colinas médias e de morretes com declividade superior a 12%, embora contenham uma quantidade maior de argila que o Latossolo, apresenta uma maior predisposição à ação erosiva das chuvas, por situar-se na porção de relevo de maior declividade e altitudes mais elevadas.

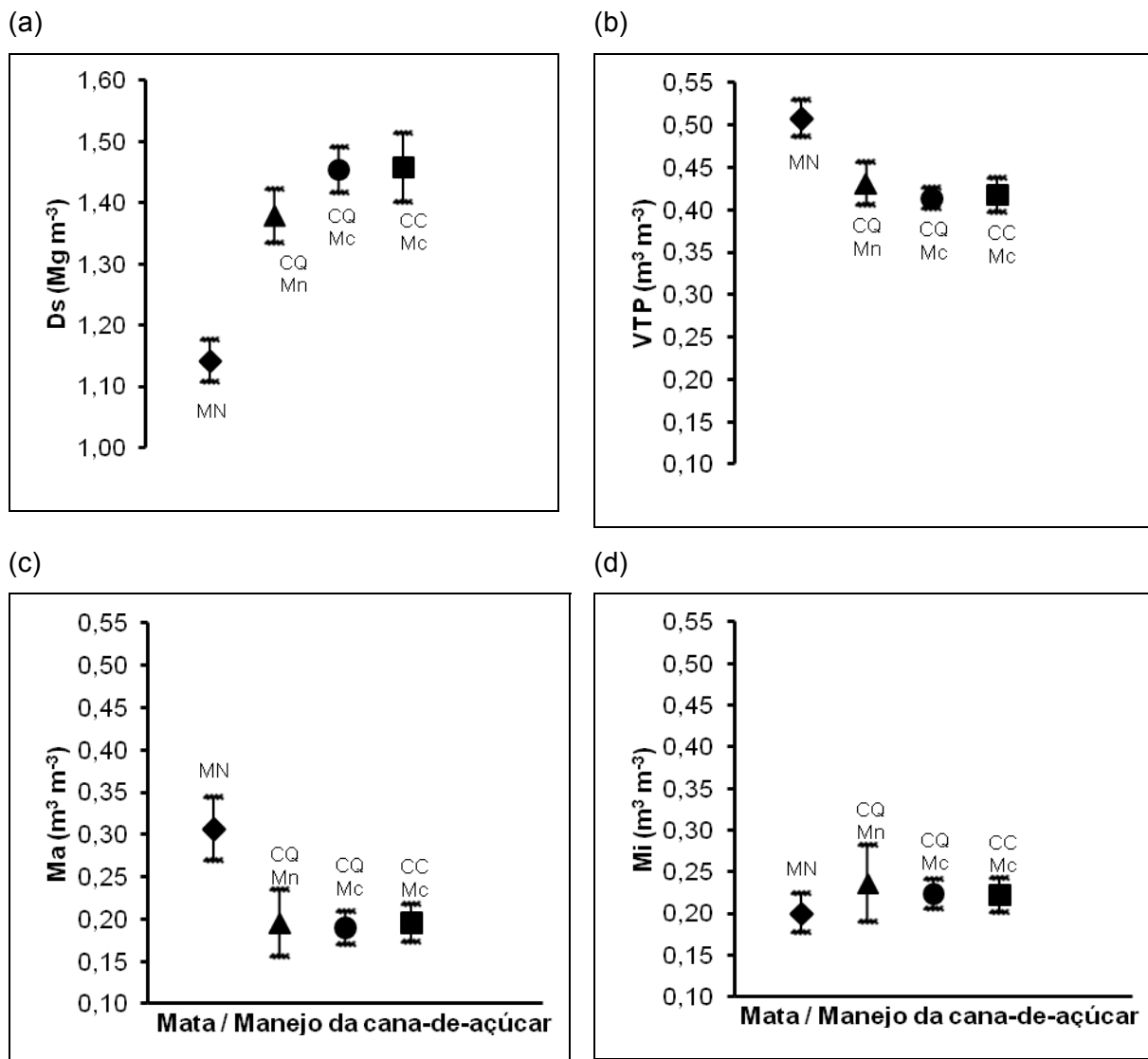
Os Nitossolos Vermelhos, além de ocuparem o relevo de colinas amplas, com declividade média a baixa, possuem características físicas e químicas e quantidade de argila que oferecem uma maior resistência ao impacto pluvial, não favorecendo, portanto, a erosão significativa naquela área de estudo.

A relação observada entre o mapa do PNE e seus condicionantes mostrou uma ampla semelhança entre a espacialização do PNE e a topografia da região e muita semelhança entre a espacialização do PNE e a carta de solos.

3.4.1 Indicadores Agroambientais

Os resultados médios, com intervalo de confiança de 95%, da densidade do solo, porosidade total, macroporosidade e microporosidade, apresentados na Figura 3.13, indicam variações entre a área sob mata nativa e as áreas sob diferentes sistemas de manejos de cana-de-açúcar (CQMn; CQMc e CCMc).

Figura 14 – Valores médios e intervalo de confiança (95%) da (a) densidade do solo (D_s), (b) Porosidade Total (VTP), (c) macroporosidade (Ma) e (d) microporosidade (Mi) de Latossolo Vermelho textura média sob mata nativa (MN) e diferentes manejos de cana-de-açúcar (CQMn – cana queimada e corte manual; CQMc – cana queimada e corte mecânico; CCMc – cana crua e corte mecânico).



Fonte: Autora.

A densidade do solo nas diferentes áreas apresentou a seguinte ordem: CCMc > CQMc > CQMn > MN. Tal seguimento mostra que os maiores valores de densidade ocorrem no solo em cultivo, sendo menor na mata nativa. Além disso, fica evidente que o uso de implementos agrícolas na colheita mecanizada da cana de açúcar, independentemente do sistema de manejo da palhada (com ou sem queima, antes da colheita), promoveu maiores alterações nesse atributo físico do solo. Resultados semelhantes foram encontrados por Machado et al. (2010).

O processo de compactação em um Latossolo Vermelho sob cultivo de cana-de-açúcar foi investigado por Paulino et al. (2004), que verificaram que o manejo de pós-colheita em soqueiras de cana-de-açúcar alterou a densidade do solo, a macro e a microporosidade. Porém, não observaram redução na área, no comprimento de raízes e na produção de cana-de-açúcar decorrentes do alto nível de compactação do solo.

Machado et al. (2010), na avaliação de sistemas de colheita de cana-de-açúcar queimada e crua, observaram que os sistemas de colheita alteraram os valores da densidade do solo, a macroporosidade e a estabilidade de agregados até a profundidade de 0,20m. Orlando Filho et al. (1998) e Camilotti et al. (2005) estudaram os efeitos do tipo de colheita da cana crua e da cana queimada nas propriedades físico-químicas de um Latossolo Vermelho escuro e concluíram que a manutenção da palhada (cana crua) aumentou a capacidade de retenção de água e o teor de matéria orgânica do solo estudado.

Nesse sentido, observa-se que os valores de densidade do solo do presente estudo não se diferiram nos sistemas de colheita da cana queimada com corte mecânico e da cana crua mecanizada ($1,45 \text{ Mg m}^{-3}$; $1,46 \text{ Mg m}^{-3}$), respectivamente, sendo que os resultados do sistema de manejo de cana queimada com corte manual ($1,38 \text{ Mg m}^{-3}$), foram menores, corroborando com os resultados de Hammad e Dawelbeit (2001) onde constataram em seus estudos que o aumento da densidade do solo, na profundidade de 0-20m com sistemas de colheita mecanizada da cana num Latossolo Vermelho, deve-se ao tráfego de máquinas pesadas durante o plantio e colheita.

Os resultados encontrados por Costa et al. (2003) e Araújo, Tormena e Silva (2004), comparando mata nativa e cultivo de cana-de-açúcar em um mesmo tipo de solo, em relação à densidade do solo mostraram maiores valores no sistema de colheita mecanizada da cana crua e menor na mata nativa, concluindo que o uso de implementos agrícolas, independentemente do sistema de manejo adotado, promove alterações na propriedades físicas do solo.

Os resultados deste estudo se explicam pelo fato de que a densidade do solo, geralmente, aumenta com a profundidade do perfil, pois as pressões exercidas pelas camadas superiores desprovidas de material orgânico, sobre as subjacentes provocam o fenômeno de adensamento, reduzindo a porosidade. A movimentação de material fino nos horizontes superiores para

inferiores, por eluviação, também concorre para reduzir os espaços porosos e aumentar a densidade dessas camadas (RABELO, 2000).

Para cana-de-açúcar, um aumento na densidade do solo, principalmente na camada superficial, prejudicaria o desenvolvimento do sistema radicular, já que esta cultura tem seu nível de exploração nutricional arranjado na camada arável do solo. Densidades muito altas como $1,5 \text{ g cm}^{-3}$ podem comprometer a respiração das raízes e exercer resistência ao seu desenvolvimento (CAMILOTTI et al., 2005).

Solos de texturas diferentes apresentam muitas diferenças nos valores de densidade do solo até mesmo em áreas de vegetação natural. Segundo Prado (2012), Latossolos de textura argilosa ou muito argilosa sob vegetação original apresentam densidade de solo de aproximadamente 1 g.cm^{-3} . Já, os Latossolos de textura média possuem densidade do solo de aproximadamente $1,35 \text{ g cm}^{-3}$.

Essa informação é importante porque uma área cultivada num Latossolo argiloso pode apresentar compactação crítica pelo tráfego intenso de veículos ao apresentar valor de densidade do solo igual a $1,5 \text{ g cm}^{-3}$ e por isso há necessidade de escarificação e/ou subsolagem. Por outro lado, esse mesmo valor de densidade igual a $1,5 \text{ g cm}^{-3}$ não necessariamente implica na necessidade de subsolagem no Latossolo de textura média, como o caso da área de estudo, porque não difere muito do valor de densidade do solo na vegetação natural.

Em outras palavras, a diferença de densidade de $1,0 \text{ g cm}^{-3}$ para $1,5 \text{ g cm}^{-3}$ é muito significativa num Latossolo argiloso, mas não é relevante para um Latossolo textura média da área de estudo.

A porosidade total e macroporosidade foram superiores no solo sob MN. Com relação à microporosidade, os sistemas de manejo da cana de açúcar apresentaram valores médios maiores que na MN (Figura 14). Os resultados se alinham aos estudos de Machado et al. (2010) e Imhoff, Silva e Fallow (2004).

Em todos os sistemas de manejo de cana de açúcar (CQMn, CQMc e CCMc) e no solo sob MN, os valores médios de volumes de macroporos foram superiores aquele considerado ideal, $1/3$ do VTP, proposto por Taylor e Aschcroft (1972). Segundo Bertol et al. (2004) esse valor ($1/3$ da VTP) é limitante ao desenvolvimento radicular e que valores menores que estes podem ser restritivos para o crescimento e produtividade das culturas.

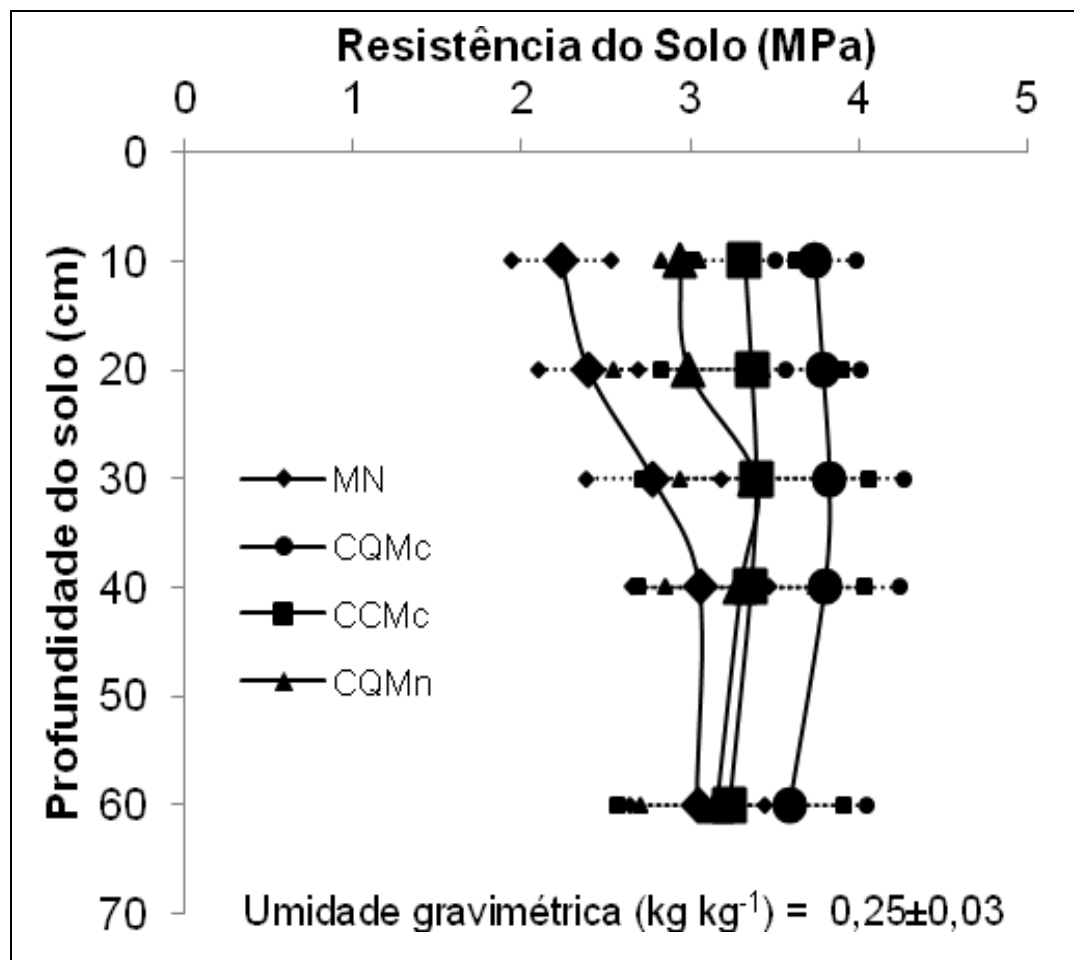
Os resultados de porosidade encontrados neste estudo nos diferentes sistemas de manejo avaliados, constataram que em todos os tratamentos com cana os valores de macroporosidade foram inferiores ao da mata nativa, e a microporosidade foram superiores, o que é considerado segundo Roque et al., (2010) um valor mínimo de porosidade necessário ao desenvolvimento do sistema radicular.

Estes resultados também estão de acordo com Souza et al. (2006), que verificaram que o cultivo da cultura de cana-de-açúcar reduz a porosidade do solo, com maior evidência na macroporosidade.

Já, os valores de resistência a penetração no sistema de manejo da cana crua (CCMc) e da cana queimada com corte mecânico (CQMc) manteve uma média constante de (3,5 MPa) em relação às profundidades, sendo este fato explicado pelo fato de que há um maior tráfego de máquinas nestes tipos de manejo e ausência de cobertura vegetal na colheita da cana com prévia queima.

Os resultados da resistência do solo à penetração, obtidos com o penetrômetro de impacto, são apresentados na (Figura 15). Pode-se observar que a resistência do solo foi maior no manejo da cana queimada colhida mecanicamente (CQMc) (3,50 MPa) e a resistência do solo à penetração foi superior, entre 0-20 a 0-35 cm de profundidade em todos os sistemas de manejo da cana, com diferença significativa em relação à mata nativa.

Figura 15 – Valores médios e intervalo de confiança (95%) da resistência do solo à penetração em Latossolo Vermelho textura média sob mata nativa (MN) e diferentes manejos de cana-de-açúcar (CQMn:cana queimada com corte manual; CQMc:cana queimada com corte mecânico; CCMc:cana crua com corte mecânico).



Fonte: Autora.

Os resultados de resistência do solo à penetração indicam que os sistemas de manejo tanto com colheita mecânica quanto manual (CQMc, CCMc e CQMn) apresentaram valores médios de resistência à penetração maiores que aqueles encontrados na MN, considerando um intervalo de confiança de 95%, o que é coerente devido ao maior tráfego de máquinas, menor teor de matéria orgânica e a maior densidade do solo.

Resultados semelhantes de resistência do solo à penetração foram observados por Souza et al. (2005), em área cultivada com cana crua, em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico.

No sistema de manejo da cana queimada com corte manual (CQMn) (Figura 15) observou-se um valor de (2,8 MPa), mantendo-se assim até a

profundidade 0-30m, sendo observado um tipo de adensamento do solo a partir desta profundidade (3,38 MPa), podendo ser explicado por causa do ressecamento devido a variações de nível d'água próximo a superfície de um depósito de argila normalmente adensada, que provoca o aparecimento de uma crosta pré-adensada. Entretanto, conforme explicado por Roque et al. (2003) são toleráveis valores de até 4 MPa para solos não revolvidos anualmente, como é o caso da cana-de-açúcar.

As diferenças de RP entre tratamentos foram mais pronunciadas entre CQMn e CQMc, principalmente na camada de 0,20 e 0,30 m, indicando uma possível camada compactada em decorrência da carga exercida pelo trator neste último tratamento. Assim como as outras propriedades estudadas, o tratamento CQMc apresentou valores mais altos de RP quando comparado aos demais tratamentos, demonstrando o efeito das diferentes pressões aplicadas ao solo sobre suas propriedades físicas.

De acordo com Alakukku et al. (2003), o peso das máquinas e a pressão que estas exercem no solo influenciam diretamente a profundidade e a distribuição da camada compactada no subsolo.

Observa-se que esses resultados explicam-se por motivos já apresentados: a) a cana queimada com colheita manual possui um menor tráfego de máquinas, pois, a carregadeira não trafega em todas as linhas, porém, não possui cobertura de palha no terreno; b) no sistema de cana crua colhida com máquina, o tráfego é maior, porém, existe a imensa quantidade de palhada no solo que ameniza a formação de camadas compactadas e por fim, c) a cana queimada colhida mecanicamente, o tráfego é intenso, e não lhe sobra a palhada, pois, essa foi totalmente queimada.

Portanto, os resultados obtidos neste estudo corroboram com estudos de Peres, Souza e Lavorenti (2010), onde, deve-se considerar que, em sistemas com maior teor de matéria orgânica, principalmente com resteva da cultura anterior melhora a estrutura do solo, e protege contra os impactos causados pelas máquinas agrícolas.

Independentemente do sistema de manejo da cana-de-açúcar, houve aumento da resistência do solo à penetração, em relação aos valores da mata nativa o que confirma os dados de Silva, Reinert e Reichert (2000); Machado et al. (2010), que avaliaram a resistência mecânica do solo à penetração em dois sistemas

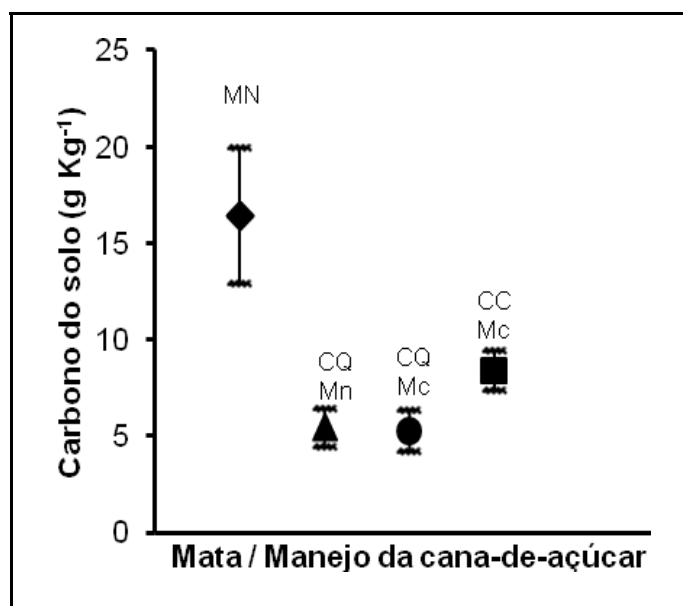
de manejo do solo, em Latossolo Vermelho sob cultivo de cana-de-açúcar, comparando-os com um sistema florestal.

Em síntese, a redução da porosidade total e da macroporosidade e o aumento da microporosidade, da densidade do solo e da resistência do solo a penetração nas áreas cultivadas em relação à área sob MN, se justificam, entre outros fatores, pela compactação do solo gerada pelo tráfego de máquinas, porém, segundo Taylor e Aschcroft (1972); Bertol et al. (2004) e Torres, Fabian e Pereira (2011) esta não encontra-se em níveis que impeçam o desenvolvimento da planta.

Para o teor de carbono orgânico do solo (Figura 16), os valores não apresentaram uma diferença significativa no que diz respeito aos tipos de manejo, ou seja, apenas um valor superior no tratamento onde houve pouca mobilização do solo, como no sistema de colheita da cana crua colhida com máquina (CCMc) ($8,0 \text{ g.kg}^{-1}$), onde a palhada permanece no solo, mantendo-o úmido, protegendo-o contra os processos erosivos e aumentando a matéria orgânica, com cobertura morta.

Os resultados obtidos concordam com os verificados por Souza et al. (2005), que observaram que o sistema de cana colhida mecanicamente apresenta aumento no teor de matéria orgânica do solo.

Figura 16 – Valores médios e intervalo de confiança (95%) do teor de carbono orgânico de Latossolo Vermelho textura média sob mata nativa (MN) e diferentes manejos de cana-de-açúcar (CQMn- cana queimada com corte manual; CQMc- cana queimada com corte mecânico; CCMc- cana crua com corte mecânico).



Fonte: Autora.

A manutenção da palhada na superfície do solo promove alterações no teor e estoque de carbono no solo, afetando, principalmente, a dinâmica do C no solo e a humificação da matéria orgânica. Skjemstad et al. (1999) compararam amostras de solo sem interferência antrópica com amostras de solo de locais onde o cultivo da cana-de-açúcar havia sido implantado recentemente e também locais com longo tempo de adoção de colheita com queima da palha da cana. Os autores concluíram que o cultivo da cana promoveu o aumento da humificação da matéria orgânica, quanto maior é o tempo de cultivo da cana. Evidências desse fato foram obtidas na redistribuição do carbono orgânico no perfil do solo cultivado com cana.

Áreas aonde a cana vêm sendo cultivada há muito tempo, apresentam solos com os menores níveis de carbono orgânico na superfície, que se elevam nas camadas do subsolo, quando comparados com áreas recém implantadas (SKJEMSTAD et al., 1999).

Os valores menores de teor do carbono no solo nos sistemas de cana queimada com corte manual e com corte mecânico, $5,0 \text{ g kg}^{-1}$; $4,87 \text{ g kg}^{-1}$ respectivamente em relação ao sistema de cana crua que foi superior, demonstrou, que de acordo com Luca et al. (2008) e Ceddia et al. (1999) que estes resultados devem-se à queima realizada antes da colheita, que elimina a palhada da superfície do solo deixando-o sem nenhum tipo de cobertura vegetal e que esta queima da palhada antes da colheita é prejudicial à manutenção dos níveis de matéria orgânica do solo, pois reduz o aporte de matéria orgânica bruta e favorece a mineralização da MO já existente.

A avaliação dos teores de carbono no solo da área de estudo, mostrou um nítido incremento de matéria orgânica, devido à mecanização da colheita, que vêm sendo feita há 2 anos, em que os restos da palhada permanecem no solo, aumentando assim, o carbono em relação aos outros sistemas de colheita.

Estes resultados corroboram com os estudos de Noble et al., (2003), que para avaliarem as mudanças no solo em diferentes manejos de colheita da cana-de-açúcar, após 6 a 9 anos de implantação, compararam atributos do solo em locais com cana colhida sem queima e queimada. O carbono orgânico aumentou 4 Mg ha^{-1} nos tratamentos com palhada de cana (tratamento sem queima) quando comparado com o tratamento com queima, após um período de 9 anos. O teor de C no solo é geralmente reconhecido como um importante componente da fertilidade do solo e dos processos ligados à física do solo. Mais que isso, existe forte ligação

entre o teor de matéria orgânica e a atividade microbiana do solo, importantes para a sustentabilidade do sistema.

A MOS é considerada um dos indicadores mais importantes de qualidade do solo, porém existem poucas avaliações qualitativas e quantitativas da MOS em sistemas de produção de cana-de-açúcar no Brasil.

Em síntese, os sistemas de manejo de cana-de-açúcar alteraram os atributos físicos do solo em relação ao solo da mata nativa em função da compactação; os sistemas de manejo de cana-de-açúcar apresentaram maiores valores médios de resistência do solo à penetração, densidade do solo e microporosidade, e menores valores de porosidade total, macroporosidade e teores de carbono; a compactação gerada pelo uso de implementos agrícolas não se apresenta em índices considerados limitantes ao desenvolvimento da planta; e independente do sistema de manejo do solo, a estrutura física foi alterada nos parâmetros analisados, porém, o sistema de colheita da cana crua, apresentou melhores valores em relação ao teor de carbono e macroporosidade, assim, contribuindo com a qualidade ambiental e estrutural do solo.

3.5 CONCLUSÕES

A metodologia aqui utilizada demonstrou ser uma ferramenta viável e de fácil acesso pelas instituições de pesquisa e ensino, para análise da evolução do uso do solo, de forma espaço-temporal.

O processo de classificação digital das imagens foi importante no mapeamento dessas áreas canavieiras, entretanto a interpretação visual se mostrou imprescindível no refinamento desse mapeamento, suportado pelas verificações de campo.

O presente trabalho atingiu o seu objetivo principal de gerar representações temáticas da situação ambiental da bacia, e a partir da análise dos resultados obtidos, verificou-se que a cultura de cana-de-açúcar vem aumentando consideravelmente na região da bacia do rio Capivara por possuir clima e solo favoráveis ao plantio e mecanização. E também pelo fato do setor industrial possuir uma boa demanda pela matéria-prima.

Na área em estudo, no período de 1977 a 2010, aproximadamente 48,31% de área principalmente de mata nativa e pastagens foram convertidas em lavouras de cana-de-açúcar.

As áreas de cana-de-açúcar sem queima da palhada proporcionou incrementos significativos nos estoques de carbono no solo, em até 20 cm de profundidade.

Concluiu-se que a mecanização da colheita da cana pode trazer grandes benefícios para a sociedade e para o meio ambiente, pois a colheita sem a queima da palha da cana aumenta a qualidade de vida das pessoas na região dos canaviais, conforme estudos realizados no decorrer desta pesquisa, que ressaltou que a colheita da cana crua contribuiu para a redução da emissão de poluentes atmosféricos, e assim está ajudando a combater as mudanças climáticas.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O cenário de expansão da cana-de-açúcar no Brasil nos últimos anos apresenta-se como importante componente para a economia do país e geração de energia renovável, com a valorização do etanol como alternativa ao uso de combustíveis fósseis. Tal expansão é possível dada às conjunções favoráveis de solo, relevo e clima.

O Brasil possui todas as condições favoráveis e disponibilidade de terras agricultáveis (a indústria da cana ocupa apenas cerca de 3% das terras aráveis do Brasil), tecnologia nacional, fabricantes de modernos equipamentos, bem como condições climáticas favoráveis.

Na próxima colheita, em 2012/13, 83% da cana do estado paulista serão recolhidas com moderníssimas máquinas, o que dispensará a queima da palha na colheita. O novo período da produção, a iniciar-se na segunda quinzena de abril ou maio de 2012, vai absorver 350 mil empregos diretos, ligados à indústria e ao campo, e em torno de 700 oportunidades de trabalho adicionais conforme dados da ÚNICA (2011) e UDOP (2011). Em coordenação com escolas técnicas, serão capacitados 25 mil trabalhadores somente em 2012, contingente do qual um terço será oriundo da colheita manual da gramínea.

Não se pode deixar de admitir a contribuição da cultura da cana-de-açúcar com a redução anual de emissões provenientes do uso do etanol, e co-geração de energia elétrica. O investimento na co-geração com bagaço é compensador do ponto de vista econômico e ambiental.

A atividade agrícola do setor sucroalcooleiro apresenta um dos mais baixos índices mundiais de erosão de solos, tendo os mais baixos índices de erosão do hemisfério americano e apresentando também um dos mais baixos índices mundiais de uso de defensivos e insumos químicos, realizando controle biológico de pragas e fertirrigação do solo com os resíduos do processamento industrial da cana.

Em relação ao parâmetro socioeconômico da região do Vale do Paranapanema, a mecanização da colheita da cana oferece muitas possibilidades para os trabalhadores, pois a usinas e as fazendas produtoras de cana estão disponibilizando para seus empregados, treinamentos para a capacitação destes trabalhadores para trabalharem com as máquinas, aumentando assim, o salário-base do trabalhador.

Este processo de mecanização da colheita da cana é um processo irreversível e os produtores estão procurando atender às exigências da Lei 11.241 e do Protocolo Agro-ambiental do estado de São Paulo, para a redução e eliminação da queima da palha da cana, pois além de trazer benefícios de redução de custos, aumento de produção e preservação do solo e meio ambiente.

Espera-se que os resultados deste estudo contribuam para o melhor entendimento de como se deu a expansão das lavouras de cana na região, e os fatores que levaram a essa expansão, fornecendo informações da situação socioambiental, e dando subsídios para a melhoria da qualidade ambiental do uso do solo nas áreas de cultura de cana-de-açúcar.

REFERÊNCIAS

- ÁBRAMO FILHO, J.; MATUSUOKA, S.; SPERANDIO, M. L.; RODRIGUES, R. C. D.; MARCHETTI L. L.; Resíduos da colheita mecanizada de cana crua. **Álcool & Açúcar**, n. 67, p. 23-25, abr./jun. 1993.
- ADÃO, N. M. L. A degradação ambiental no Brasil colônia: relatos para reflexões contemporâneas. **Educação Ambiental em Ação**, São Paulo, n. 20, maio 2007.
- AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS – ANA. Disponível em: <www.ana.gov.br>. Acesso em: 15 ago. 2011.
- ALAKUKKU, L.; WEISSKOPF, P.; CHAMEN, W. C. T.; TIJINK, F. G. J.; van der LINDEN, J. P.; PIRES, S.; SOMMERF, C.; SPOOR, G. Prevention strategies for field trafficinduced subsoil compaction: A review Part 1. Machine/soil interactions. **Soil and Tillage Research**, v. 73, n. 1-2, p. 145-160, Oct. 2003.
- ALVARES, C. A.; SILVA, A. M. Características das vertentes e potencial natural de erosão da bacia hidrográfica do Ribeirão dos Pinheirinhos (Torrinha / Brotas – SP). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 11., 2005, São Paulo. **Anais...** CD-ROM.
- ANDRADE, M. C. Pierre Monbeig e o pensamento geográfico no Brasil. **Boletim Paulista de Geografia**, São Paulo, n. 72, p. 63-82, 1994.
- ANDRADE, H.; ALVES, H. M. R.; VIEIRA, T. G. C.; RESENDE, R. J. T. P.; ESTEVES, D. R.; ROSA, E. R. Diagnóstico ambiental do Município de Lavras com base em dados do meio físico: III – Estratificação em classes de declive. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Poços de Caldas, MG. **Anais....** Lavras: UFLA/SBEA, 1998. v. 4, p. 356-358.
- ARAÚJO, M. A.; TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. Propriedades físicas de um latossolo vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 2, p. 337-345, 2004.
- ARIAS, M. S. et. al. Álcool. In: TAUPIER, L. O. G. (Ed.). **Manual dos derivados da cana de açúcar**: diversificação, matérias primas, derivados do bagaço, derivados do melaço, outros derivados, resíduos, energia. Brasília: ABIPTI, ICIDCA: Inst. Cubano de Derivados da Cana de açúcar. 1999. p. 229-236.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS – ABIMAQ. Disponível em: <www.abimaq.org.br>. Acesso em: 15 ago. 2011.
- ASSOCIAÇÃO DOS GEÓGRAFOS BRASILEIROS – AGB. Pierre Deffontaines. Disponível em: <www.agb.org.br>. Acesso em: 15 ago. 2012.
- ASSOCIAÇÃO DOS PLANTADORES DE CANA DO OESTE DO ESTADO DE SÃO PAULO - CANOESTE. **Metade da cana já é colhida com máquina**. Disponível em: <http://www.canaoeste.com.br/principal.php?xvar=ver_np_ind;xid_noticia=1255>. Acesso em: 16 mar. 2011.

ASSOCIAÇÃO DOS PLANTADORES DE CANA DO OESTE DO ESTADO DE SÃO PAULO – CANAOESTE. Disponível em: <www.canaoeste.com>. Disponível em: 15 ago. 2011.

ASSOCIAÇÃO RURAL DOS FORNECEDORES E PLANTADORES DE CANA DA MÉDIA SOROCABANA – ASSOCANA. Disponível em: <www.assocana.com.br>. Acesso em: 15 ago. 2011.

ASSOCIAÇÃO RURAL FORNECEDORES PLANTADORES DE CANA – ASSOCANA. **Custo médio operacional da lavoura de cana-de-açúcar em reais**. 2009. Disponível em: <<http://www.assocana.com.br/custo.html>> Acesso em: 25 fev. 2010.

BASALDI, O. V. Qualidade do emprego na agricultura brasileira no período 2001-2004 e suas diferenciações por culturas. **RER**, v. 45, n. 2, p. 409-444, abr./jun. 2007.

BEN-DOR, E. Quantitative remote sensing of soil properties. **Advances in Agronomy**, v.75, p.173-243, 2002.

BERTELLI, L. G. **Queimadas da cana incomodam**. 2008. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/opiniao/show.asp?msgCode=%7BAE068FBA-927D-4F66-A7D9-0F85997D5983%7D>>. Acesso em: 16 mar. 2011.

BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J. A.; LEITE, D.; AMARAL, A. J.; ZOLDAN JUNIOR, W. A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 1, p.155-165, 2004.

BERTONI, J. L.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 4. ed. São Paulo: Ícone, 1999.

BIZZO, W. A. Tecnologias da biomassa para conversão de energia. In: **DIVERSIFICAÇÃO energética: uma estratégia de desenvolvimento para o Rio Grande do Norte**. Natal: UFRN, 2007.

BOIN, M. N. **Chuvvas e erosões no oeste paulista**: uma análise climatológica aplicada. 2000. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.

BRANDÃO, A. **Cana-de-açúcar**: álcool e açúcar na história e no desenvolvimento social do Brasil. Brasília: Horizonte, 1985.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento – MAPA. Disponível em: <www.agricultura.gov.br>. Acesso em: 22 jan. 2011a.

_____. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA. **Anuário estatístico da agroenergia 2010**. Brasília, 2011. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br>>. Acesso em: 29 jun. 2011b.

BRAUNBECK, O. A.; OLIVEIRA, J. T. A. Colheita de cana-de-açúcar com auxílio mecânico. **Engenharia Agrícola**, v. 26, n. 1, p. 300-308, 2006.

BRAY, S. C. **A cultura da cana-de-açúcar no vale do Paranapanema**. São Paulo: FFLCH/USP, 1980.

BRAY, S. C.; FERREIRA, E. R.; RUAS, D. G. G. **As políticas da agroindústrias canavieira e o PROÁLCOOL no Brasil**. Marília: UNESP, 2000.

BRUNINI, O. Ambientes climáticos e exploração agrícola da cana-de-açúcar. In: DINARDOMIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A.C M.; ANDRADE LANDELL, M. G. DE. **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2008. p. 205-218.

BUENO, C. R. P.; STEIN, D. P. Potencial natural e antrópico de erosão na região de Brotas, Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum**, v. 26, p.1-5, 2004.

CAMARGO, A. M. M. P.; CASER, D. V.; CAMARGO, F. P.; OLIVETTE, M. P. A.; SACHS, R. C. C.; TORQUATO, S. A. Dinâmica e tendência da expansão da cana-de-açúcar sobre as demais atividades agropecuárias, Estado de São Paulo, 2001-2006. **Informações Econômicas**, v. 38, n. 3, p. 47-66, mar. 2008.

CAMARGO, C. A. (Coord.). **Conservação de energia na indústria do açúcar e álcool**: manual de recomendações. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1990.

CAMILOTTI, F.; ANDRIOLI, I.; DIAS, F. I. F.; CASAGRANDE, A. A.; SILVA, A. R.; MUTTON, M. A. ; CENTURION, J. F. Efeito prolongado de sistemas de preparo do solo com e sem cultivo de soqueira de cana crua em algumas propriedades físicas do solo. **Engenharia Agrícola**, v. 25, n. 1, p. 189-198, jan./abr. 2005.

CAMPOS, D. C. **Potencialidade do sistema de colheita sem queima da cana-de-açúcar para o sequestro de carbono**. 2003. 103 f. Tese (Doutorado em Microbiologia Agrícola) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP. Disponível em : <http://homologa.ambiente.sp.gov.br/etanolverde/salbamais/artigos/impactosAmbientais/impactosAmbientaisAgroindustria.pdf>>. Acesso em: 30 jun. 2011.

CAMPOS, R. A.; MACHADO, W.; STIPP, N. A. F. Tipologia dos processos erosivos decorrentes do uso e ocupação do solo. In: SEMINÁRIO TEMÁTICO DE GEOGRAFIA DO NORTE DO PARANÁ: O BRASIL FRENTE AOS ARRANJOS ESPACIAIS DO SÉCULO XXI, 1., SEMANA DE GEOGRAFIA, 21., 2005, Londrina. **Anais...** Londrina: DGEO/UUEL - AGB, 2005. v. 1, p. 1-13.

CAMPOS, S.; ARAÚJO JUNIOR, A.; BARROS, Z. X.; CARDOSO, L. G.; PIROLI, E. Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao uso da terra em microbacias hidrográficas, Botucatu-SP. **Engenharia Agrícola Jaboticabal**, v. 24, n. 2, p. 431-435, maio/ago. 2004.

CANASAT. **Mapeamento da cana via imagens de satélite de observação da terra**. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/canasat/>>. Acesso em: 16 mar. 2011

CANÇADO, J. E. D.; SALDIVA, P. H. N.; PEREIRA, L. A. A.; LARA, L. B. L. S.; ARTAXO, P.; MARTINELLI, L. A.; ARBEX, M. A.; ZANOBETTI, A.; BRAGA, A. L. F. The impact of sugarcaneburning emissions on the respiratory system of children and the elderly. **Environmental Health Perspectives**, v. 114, n. 5, p. 725-729, 2006.

CARVALHO, N. de O. **Hidrossedimentologia prática**. Rio de Janeiro: Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais - CPRM, 1994.

CASTRO, M. Energia equivaleria a 2 turbinas de Itaipu. **O Estado de São Paulo**, São Paulo, 17 jun. 2001.

CAVALIERI, K. M. V.; SILVA, A. P.; ARVIDSSON, J.; TORMENA, C. A. Influência da carga mecânica de máquina sobre propriedades físicas de um cambissolo háplico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 33, p. 477-485, 2009.

CEDDIA, M. B.; ANGOS, L. H. C.; LIMA, E.; RAVELLI NETO, A. ; SILVA, L. A. Sistemas de colheita da cana-de-açúcar e alterações nas propriedades físicas de um solo Podzólico Amarelo no Estado do Espírito Santo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, p.1467-73, 1999.

CENTRO DE TECNOLOGIA CANAVIEIRA – CTC. Disponível em: <www.ctcanavieira.com.br>. Acesso em: 2 jun. 2011.

CERRI, C. E. P.; SPAROVEK, G.; BERNOUX, M.; EASTERLING, W. E.; MELILLO, J. M. ; CERRI, C. C. Tropical agriculture and global warming: impacts and mitigation options. **Scientia Agrícola**, n. 64, p. 83-99, 2007.

COELHO NETTO, A. L. Hidrologia de encosta na interface com a geomorfologia. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Org.). **Geomorfologia**: uma atualização de bases e conceitos. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1994. p. 93-148.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB. Disponível em:<www.cetesb.sp.gov.br>. Acesso em: 15 ago. 2011.

_____. **Vinhaça**: critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola. São Paulo: CETESP, 2005.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento de safra brasileira**: cana-de-açúcar, terceiro levantamento, dezembro/2011. Brasília: CONAB, 2011.

_____. **Perfil do setor de açúcar e álcool no Brasil**. Brasília: CONAB, 2012.

COORDENADORIA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA INTEGRAL – CATI. Disponível em: <www.cati.sp.gov.br>. Acesso em: 15 ago. 2011.

CORTEZ, L. A. B. **Bioetanol de cana-de-açúcar**: P & D para produtividade e sustentabilidade. São Paulo: Blucher, 2010.

CORTEZ, L.; MAGALHÃES, P.; HAPP, J. Principais subprodutos da agroindústria canavieira e sua valorização. **Revista Brasileira de Energia**, v. 2, n. 2, p. 111-146, 1992.

COSTA, F. S.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 27, n. 3, p. 527-535, 2003.

GUERRA, A. J. T. Processos erosivos nas encostas. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Org.). **Geomorfologia**: uma atualização de bases e conceitos. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1994. P. 139-155.

DEAN, W. **A ferro e fogo**: a história e a devastação da mata atlântica brasileira. São Paulo: Companhia das Letras, 1996.

DEMATTE, J. A.M. Sistema de avaliação do uso da terra. In: _____. **Caracterização e espacialização do meio físico, como base para o planejamento do uso da terra**. Piracicaba: ESALQ, 2008. Cap. 3, p.117-169.

DOMINGUES, E. N.; ROSSI, M.; MATTOS, I. F. A.; ABEK, M. K. Tipologia e distribuição dos processos erosivos na microbacia do ribeirão água da cachoeira, em Paraguaçu Paulista, SP. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, n. 22, p. 141-149, 1998.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solo. **Manual de métodos de análise de solos**. Rio de Janeiro: EMPRAPA, 1997. (Documento 1)

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Disponível em: <www.embrapa.br>. Acesso em: 25 maio 2011.

FAZENDA RANCHO ALEGRE. Disponível em: <www.uniao.agr.br>. Acesso em: 25 maio 2011.

FERLINI, V. L. A. I. **A civilização do açúcar**: (século XVI a XVIII). São Paulo: Brasiliense, 1989.

FERRAZ, J. M. G.; PRADA, L. S.; PAIXÃO, M. Certificação socioambiental do setor sucroalcooleiro. São Paulo: Embrapa Meio Ambiente, 2000.

FERREIRA, E. R. A expansão da canavicultura no Vale do Paranapanema - SP. In: ENCONTRO NACIONAL DE GEOGRAFIA AGRÁRIA, 9., 1988, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, 1988. p.143-160.

FERREIRA, E. R., ALVES, F. D. Organização espacial da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo: uma análise evolutiva. In: ENCONTRO DE GRUPOS DE PESQUISA "AGRICULTURA, DESENVOLVIMENTO REGIONAL E TRANSFORMAÇÕES SOCIOESPACIAIS, 5., 2009, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: UFSM, 2009. v. 5, p. 1-18.

FRANCISCO, C. F. de. **Análise ambiental e consequência do desmatamento no município de Presidente Prudente no período de 1914 à 1986**. Rio Claro, 1989, 295p. Dissertação (Mestrado em Geografia) Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, 1989.

FRAVET, P. R. F.; SOARES, R. A. B.; LANA, R. M. Q.; LANA, A. M. Q.; KORNDÖRFER, G. H. Efeito de doses de torta de filtro e modo de aplicação sobre a produtividade e qualidade tecnológica da soqueira de cana-de-açúcar. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, p. 618-624, 2010.

GOLDEMBERG, J. Biomassa e energia. **Química Nova**, v. 32, n. 3, p. 582-587, 2009.

GOLDEMBERG, J.; GUARDABASSI, P. Are biofuels a feasible option? **Energy Policy**, v. 37, n. 1, p. 10-14, 2009.

GRUPO DE PESQUISA EM RECURSOS HÍDRICOS - GPRH. **Erosividade SP: erosividade da chuva para o Estado de São Paulo**, 2005. Software net.

GUIMARÃES, L. J. R.; SANTOS, L. J. C. L. Levantamento das áreas potenciais à erosão laminar como suporte à detecção das áreas-fonte ao assoreamento na barragem Piraquara 1. **Revista Eletrônica Geografar**, v. 2, n. 2, p. 172-188, 2007.

HAMMAD, E.A.; DAWELBEIT, M. I. Effect of tillage and field condition on soil physical properties, cane and sugar yields in Vertisols of Kenana Sugar Estate, Sudan. **Soil and Tillage Research**, v. 62, p. 101-109, 2001.

IAIA, A. M.; MAIA, J. C. S. ; KIM, M. E. Uso do penetrômetro eletrônico na avaliação da resistência do solo cultivado com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, n. 10, p. 523-530, 2006.

IGREJA, A. C. M. **O uso da terra para finalidades agrícolas no Brasil no período recente**. 2000. 201 f. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) - Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

IMHOFF, S.; SILVA, A. P.; FALLOW, D. Susceptibility to Compaction, Load Support Capacity, and Soil Compressibility of Hapludox. **Soil Science Society of America Journal**, v. 68, p. 17-24, 2004.

INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS – IAC. Disponível em: <www.iac.br>. Acesso em: 22 jan. 2011.

INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA - IEA. **Área e produção dos principais produtos da agropecuária do estado de São Paulo**. Disponível em: <<http://ciagri.iea.sp.gov.br/bancoiea/subjetiva.aspx>>. Acesso em: 30 jun. 2011a.

_____. Disponível em: <www.iea.sp.gov.br>. Acesso em: 22 jan. 2012.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT/SP. **Mapa geomorfológico do estado de São Paulo**. São Paulo: Div. de Minas e Geol. Aplic., 1981a. v.1.

_____. **Mapa geológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: Div. de Minas e Geol. Aplic., 1981b. v. 1.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. Diminuem as queimadas para colheita da cana-de-açúcar em SP. 2010. Disponível em: <http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=2172>. Acesso em: 22 fev. 2011.

_____. 2010. Disponível em: <www.inpe.br>. Acesso em: 22 jan. 2011.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. 2007. Disponível em: <www.ipcc.ch>. Acesso em: 22 jan. 2011.

IZIDORIO, R.; MARTINS FILHO, M. V.; MARQUES JÚNIOR, J.; SOUZA, Z. M.; PEREIRA, G. T. Perdas de nutrientes por erosão e sua distribuição espacial em área sob cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, v. 25, n. 3, p. 660-670, 2005.

JORNAL DA CANA. Disponível em: <www.jornalcana.com.br>. Acesso em: 22 jan. 2011.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979.

LANZOTTI, C. R. **Uma análise emergética de tendências do setor sucroalcooleiro**. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

LEÃO, R. M. **Álcool, energia verde**. São Paulo: Iqual, 2002.

LEITE, J. F. **A ocupação do Pontal do Paranapanema**. 1981. 256 f. Tese (Livre-Docência) - Instituto de Planejamento e Estudos Ambientais da Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.

_____. **Ocupação do Pontal do Paranapanema**. São Paulo: Hucitec, 1973.

LEITE, R. L. **Cultivares de cana-de-açúcar em solos da região norte do estado do Tocantins**. 2007. 65 p. Dissertação (Mestre em Ciência animal tropical da Universidade Federal do Tocantins) - Universidade Federal do Tocantins, Tocantins.

LEPSCH, I. F. **Formação e Conservação dos Solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

LOBO, D.; LOZANO, Z.; DELGADO, F. Water erosion risk assessment and impact on productivity of a Venezuelan soil. **Catena**, v. 64, p. 297-306, 2005.

LORA, B. A.; MONTEIRO, M. B.; ASSUNÇÃO, V.; FRIGERIO, R. **Levantamento georreferenciado da Expansão da Cultura de Cana-de-Açúcar no Estado de São Paulo**. São Paulo, dez. 2006. Projeto de pesquisa.

LUCA, E. F.; FELLER, C.; CERRI, C. C.; BARTHES, B.; CHAPLOT, V.; CAMPOS, D. C.; MANECHINI, C. Avaliação de atributos físicos e estoques de carbono e nitrogênio em solos com queima e sem queima de canavial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 789-800, 2008.

MACEDO, I. C. **Geração de energia elétrica a partir da biomassa no Brasil: situação atual, oportunidades e desenvolvimento**. Brasília: Centro de Gestão de Estudos Estratégicos, 2005.

MACHADO, F. B. P. **Brasil, a doce terra**. 2007 Disponível em: <<http://www.jornalcana.com.br/conteudo/HistoriadoSetor.asp>>. Acesso em: 26 jun. 2011.

MACHADO, W.; TELLES, T. S.; TAVARES FILHO, J.; GUIMARÃES, M. F.; ALVES G. B.; BORGES, J. L. B. Physical properties of a rhodic haplustox under two sugarcane harvesting systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 6, nov./dec. 2010.

MBF AGRIBUSINESS. **Assessoria gestão e monitoramento**. Disponível em: <www.mbfagribusiness.com>. Acesso em: 22 jan. 2011.

MENEGUELLO, L. A.; CASTRO, M. C. A. A. O protocolo de Kyoto e a geração de energia elétrica pela biomassa da cana-de-açúcar como mecanismo de desenvolvimento limpo. **Interações**, v. 8, n. 1, mar. 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/scielo.php?pid.>>. Acesso em: 28 dez. 2010.

MESQUITA, M. G. B. F.; MORAES, S. O. A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo. **Ciência Rural**, v. 34, p. 963-969, 2004.

MICHELAZZO, M. B. ; BRAUNBECK, O. A. Análise de Seis sistemas de recolhimento do palhiço da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, p. 546-552, 2008.

MONBEIG, P. **Pioneiros e fazendeiros de São Paulo**. Sao Paulo: Hucitec, 1984.

MORAES, M. A. F. D. **O mercado de trabalho da agroindústria canavieira: desafios e oportunidades**. Econ. aplic., São Paulo, v. 11, n. 4, p. 605-619, out/dez. 2007.

MOREIRA, J. R.; GOLDEMBERG, J. The alcohol program. **Energy Policy**, v. 27, p. 229-245, 1999.

MOSADDEGHI, M. R.; KOOLEN, A. J.; HEMMAT, A.; HAJABBASI, M. A.; LERINK, P. Comparisons of different procedures of pre-compaction stress determination on weakly structure soils. **Journal of Terramechanics**, v. 44, n. 1, p. 53-63, 2007.

NOBLE, A. D.; MOODY, P.; BERTHELSEN, S. Influence of changed management of sugarcane on some soil chemical properties in the humid wet tropics of north Queensland. **Australian Journal of Soil Research**, v. 41, p. 1133-1144, 2003.

NOGUEIRA, L. A. H.; LORA, E. E. S. **Dendroenergia: fundamentos e aplicações**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2003.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. 2. ed. São Paulo: E. Blücher, 1992.

ORGANIZAÇÃO DE PLANTADORES DE CANA DA REGIÃO CENTRO-SUL DO BRASIL - ORPLANA. Disponível em: <www.orplana.com.br>. Acesso em: 22 jan. 2012.

ORLANDO FILHO, J.; ROSSETO, R.; MURAOKA, T.; ZOTELLI, H. B. Efeitos do sistema de despalha (cana crua x cana queimada) sobre algumas propriedades do solo. **STAB: Açúcar, Alcool e Subprodutos**, v.16, p. 30-33, 1998.

PANOSSO, A. R.; PEREIRA, G. T.; MARQUES JÚNIOR, J.; SCALA JÚNIOR, N. Variabilidade espacial da emissão de CO₂ em Latossolos sob cultivo de cana-de-açúcar em diferentes sistemas de manejo. **Engenharia Agrícola**, v. 28, n. 2, p. 227-236, 2008.

PAULINO, A. F.; MEDINA, C. C.; AZEVEDO, M. C. B.; SILVEIRA, K. R. P.; TREVISAN, A. A.; MURATA, I. M. Escarificação de um Latossolo Vermelho na pós-colheita de soqueira de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 5, p. 911-917, 2004.

PEDRO, F. G.; LORANDI, R. Potencial Natural de erosão na área periurbana de São Carlos – SP. **Revista Brasileira Cartografia**, v. 56, n. 1, p. 28-33, 2004.

PERES, J. G., SOUZA, C. F.; LAVORENTI, N. A. Avaliação dos efeitos da cobertura de palha de cana-de-açúcar na Umidade e na perda de água do solo. **Engenharia Agrícola**, v. 30, n. 5, p. 875-886, set./out. 2010.

PETRONE, M. T. S. **A lavoura canavieira em São Paulo**: expansão e declínio (1765-1851). São Paulo: Difusão Européia do Livro, 1968.

PIACENTE, F.J. **Agroindústria canavieira e o sistema de gestão ambiental**: o caso das usinas localizadas nas Bacias Hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá. 2005. 181p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Econômico) - UNICAMP, Campinas.

PIRES NETO, A. G.; ROSSI, M.; LEPSCH, I. F.; CATARUCCI, A. F. M.; PARDI, M. M. O papel dos atributos geológico, geomorfológico e pedológico na distribuição do cerrado e da floresta estacional semidecidual na região de Assis e Marília (médio vale do rio Paranapanema). In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA/REGIONAL CONFERENCE ON GEOMORPHOLOGY, 6., 2006, Goiânia. **Anais...** Disponível em: <<http://www.labogef.iesa.ufg.br/links/sinageo/articles/379.pdf>>. Acesso em: 11 fev. 2011.

PONZONI, F. J.; REZENDE, A. C. P. Influência da resolução espacial de imagens orbitais na identificação de elementos da paisagem em Altamira – PA. **Árvore**, v. 26, n. 4, p. 403-410, jul./ago. 2002.

PRADO, H. Pedologia fácil. Disponível em: <www.pedologiafacil.com.br>. Acesso em: 22 jan. 2011.

PROCANA. **Centro de informações sucroenergéticas**. Disponível em: <www.procana.com.br>. Acesso em: 22 jan. 2009.

_____. **Os impressionantes números do setor (safra 2008/09)**. 2009. Disponível em: <http://www.jornalcana.com.br/Conteudo/Conheca%20o%20Setor.asp>. Acesso em: 7 fev.2011.

RABELO, N. A. **Método de análise**. Goiânia: Ed. UCG, 2000. (Cadernos Didáticos; 12).

RANIERI, S. B. L.; BARRETTO, A. G. O. P.; KLUG, I. L. F. Potencial de desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar para o estado do Maranhão. In: PÓLO NACIONAL DE BIOCOMBUSTÍVEIS (Org.). Estudo comparativo do potencial de produção de etanol no Maranhão: vantagens competitivas e comparativas. Piracicaba: ESALQ, 2007. C Ap. 1, p. 1-69.

REVISTA FRANCO-BRASILEIRA DE GEOGRAFIA - REVUES. **Relevo do Estado de São Paulo**. Disponível em: <www.confins.revues.org>. Acesso em: 22 jan. 2012.

RIBEIRO, G. do N. **Estudo dos solos e uso atual da terra em parte do agreste paraibano (região de Puxinanã), através de sensoriamento remoto e geoprocessamento**. 2003. 60 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Agrônômica) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Areia – PB, 2003.

RIBEIRO, F. L.; CAMPOS, S. Vulnerabilidade à erosão do solo da Região do Alto Rio Pardo, Pardinho, SP. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, p. 628-636, 2007.

RIPOLI, M. L. C.; GAMERO, C. A. Palhiço de cana-de-açúcar: ensaio padronizado de recolhimento por enfardamento cilíndrico. **Energia Agrícola**, v. 22, n. 1, p. 75-93, 2007.

RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C. **Biomassa de cana-de-açúcar**: colheita, energia e ambiente. Piracicaba: T. C. C. Ripoli, 2009.

RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C.; CASAGRANDE, D. V.; IDE, B. Y. **Plantio de cana-de-açúcar**: estado da arte. Piracicaba: T.C.C.Ripoli, 2006.

RIPOLI, T. C.; MOLINA JUNIOR, W. F.; RIPOLI, M. L. C. Energetic potential of the sugar cane biomass in Brazil. **Rivista di Ingegneria Agraria**, v. 31, n. 1, p. 1-7, Feb., 2000.

ROQUE, A. A. O.; SOUZA, Z. M.; BARBOSA, R. S.; SOUZA, G.S. Controle de tráfego agrícola e atributos físicos do solo em área cultivada com cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 7, p. 744-750, jul. 2010.

ROQUE, C. G.; CENTURION, J. F.; ALENCAR, G. V.; BEUTLER, A. N.; PEREIRA, G. T.; ANDRIOLI, I. Comparação de dois penetrômetros na avaliação da resistência à penetração de um Latossolo Vermelho sob diferentes usos. **Acta Scientiarum: Agronomy**, v. 25, n. 1, p. 53-57, 2003.

ROSSETO, R. A cultura da cana, da degradação a conservação. **Visão Agrícola**, v. 1, n. 1, p. 80-85, Jan. 2004.

RUDORFF, B. F. T, AGUIAR, D. A., SILVA, W. F., SUGAWARA, L. M., ADAMI, M. E MOREIRA, M. A. Studies on the rapid expansion of sugarcane for ethanol production in São Paulo State (Brazil) Using Landsat Data. **Remote Sensing**, v. 2, n. 4, p. 1057-1076, 2010.

RUDORFF, B. F. T.; BERKA, L. M. S.; MOREIRA, M. A.; DUARTE, V.; XAVIER, A. C.; ROSA, V. G. C.; SHIMABUKURO, Y. E. Imagens de satélite no mapeamento e

estimativa de área de cana-de-açúcar em São Paulo: ano-safra 2003/04. **Agricultura em São Paulo**, v. 52, n.1, p. 21-39, 2005.

SAFRAS & MERCADO. Consultoria de planejamento empresarial. Disponível em: <www.safras.com.br>. Acesso em: 22 jan. 2012.

SANCHES, M. C.; ZUBCOV, I.; GALO, M. L. B. T. Análise da evolução da cultura de cana-de-açúcar nas áreas de conflito territorial. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, 15., 2011, Curitiba. **Anais...** Curitiba, INPE, 2011. p. 6802.

SANT'ANNA NETO, J. L.; ZAVATINNI, J. A. **Variabilidade e mudanças climáticas**. Maringá: Eduem, 2000.

SÃO PAULO. Secretaria de Agricultura e Abastecimento. **Bases para um plano de desenvolvimento do Oeste do Estado de São Paulo - PROESTE**. São Paulo, 1980.

_____. Secretaria de Energia e Saneamento do Estado. **Controle de erosão**. 2. ed. São Paulo: Departamento de Águas e Energia Elétrica: Instituto de Pesquisas Tecnológicas. 1990.

SATOLO, L. F.; BACCHI, M. R. P. Dinâmica econômica das flutuações na produção de cana-de-açúcar. **Economia Aplicada**, v. 13, n. 3, p. 377-397, 2009.

SCHULTZ, N. **Efeito residual da dubação em canaplanta e adubação nitrogenada em cana de primeira soca com aplicação de vinhaça**. 2009. Dissertação (Mestrado em Agronomia)– UFRRJ, Seropédica, 2009.

SEVERIANO, E. C.; OLIVEIRA, G. C.; DIAS JÚNIOR, M. S.; CASTRO, M. B.; OLIVEIRA, L. F. C.; COSTA, K. A. P. Compactação de solos cultivados com cana-de-açúcar: I - modelagem e quantificação da compactação adicional após as operações de colheita. **Engenharia Agrícola**, v. 30, n. 3, p. 404-413, 2010.

SILVA, M. L. N.; CURI, N., FERREIRA, M. M., LIMA, J. Ma.; FERREIRA, D. F. Proposição de modelos para estimativa da erodibilidade de latossolos brasileiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 12, p. 2287-2298, dez. 1999.

SILVA, A. J. N.; CABEDA, M. S. V. Compactação e compressibilidade do solo sob sistemas de manejo e níveis de umidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.921-930, 2006.

SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Susceptibilidade à compactação de um Latossolo Vermelho Escuro e de um Podzólico Vermelho Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 239-249, 2000.

SINDICATO RURAL DA ALTA NOROESTE – SIRAN. Disponível em: <www.siran.com.br>. Acesso em: 22 jan. 2009.

SIQUEIRA, P. H. L.; REIS, B. S. Análise da economia do setor sucroalcooleiro do estado de Minas Gerais: evolução histórica e fatos contemporâneos. **Revista de Economia da UEG**, v. 4, n. 2, jul./dez. 2008.

SKJEMSTAD, J. O.; TAYLOR, J.A.; JANIK, L. J.; MARVANEK, S. P. Soil organic carbon dynamics under long-term sugarcane monoculture. **Australia Journal of Soil Research**, v. 37, p. 151-164, 1999.

SMEETS, E.; JUNGINGER, M.; FAAJI, A.; WALTER, A.; DOLZAN, P., TURKENBURG, W. The sustainability of Brazilian ethanol-An assessment of the possibilities of certified production. **Biomass and Bioenergy**, v. 32, n. 8, p. 781-813, Aug. 2008.

SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL – STAB. Disponível em: <www.stab.org.br>. Acesso em: 22 nov. 2011.

SOUSA, R. R. **Panorama, oportunidade e desafios para o mercado mundial de álcool automotivo**. 2006. 129 f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Planejamento Energético) - UFRJ, Rio de Janeiro, 2006.

SOUZA, Z. M.; BEUTLER, A. N.; PRADO, R. M.; BENTO, M. J. C. Efeito de sistemas de colheita de cana-de-açúcar nos atributos físicos de um Latossolo Vermelho. **Científica**, v. 34, n. 1, p. 31-38, 2006.

SOUZA, Z. M.; PRADO, R. de M.; PAIXÃO, A. C. S.; CESARIN, L. G. Sistemas de colheita e manejo da palhada de cana-de-acucar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, p. 271-278, 2005.

SPAROVEK, G.; MAULE, R. F.; BURG, R. Integração cana-pecuária: geração de valor social e ambiental. **Visão Agrícola**, n. 8, jan. 2008.

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 15, p. 229-235, 1991.

STOLF, R.; FERNANDES, J.; FURLANI NETO, V. L. **Recomendação para o uso do penetrômetro de impacto, modelo IAA/Planalsucar–Stolf**. São Paulo: MIC/IAA/PNMCA-Planalsucar, 1983. (Boletim 1)

SUZUKI, L. E. A. S.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; LIMA, C. L. R. Grau de compactação, propriedades físicas e rendimento de culturas em Latossolo e Argissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 8, p. 1159-1167, 2007.

TAVARES, S.; MATEUS, G. P.; VEIGA FILHO, A. A. A cana-de-açúcar no oeste do Estado de São Paulo. In: HARADA, E. et al. (Coord.). **Anuário da agricultura Brasileira**. São Paulo: FNP, 2007. p. 251.

TAYLOR, S. A.; ASHCROFT, G. L. **Physical edaphology**: the physics of irrigated and nonirrigated soils. San Francisco: W.H. Freeman, 1972.

THEODORO, A. D. **Expansão da cana-de-açúcar no Brasil**: ocupação da cobertura vegetal do Cerrado. Araçatuba: Fatec, 2011.

TORMENA, C. A.; BARBOSA, M. C.; COSTA, A. C. S.; GONÇALVES, A. C. A. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo vermelho distrófico

sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agricola**, v. 59, n. 4, p. 795-801, 2002.

TORRADO, P. V.; LEPSCH, I. F.; CASTRO, S. S. Conceitos e aplicações das relações pedologia- geomorfologia em regiões tropicais úmidas. **Tópicos em Ciência do Solo**, v. 4, p. 145-192, 2005.

TORRES, J. L. R.; FABIAN, A. J.; PEREIRA, M. G. Alterações dos atributos físicos de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de manejo. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 3, p. 437-445, 2011.

TUCCI, C.E.M. **Hidrologia**: ciência e aplicação. Porto Alegre: Ed. Universidade/ABRH, 1993. Cap.1, p. 25-33; Cap. 22, p.849-75.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR - ÚNICA. **Dados e cotações – estatísticas**: produção Brasil. 2011. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/dadosCotacao/estatistica/>>. Acesso em: 10 fev. 2011.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR - UNICA. **Protocolo agroambiental do setor sucroalcooleiro**. 2007. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/content/show.asp?cntCode={BEE106FF-D0D5-4264-B1B3-7E0C7D4031D6}>>. Acesso em: 22 jan. 2011.

_____. Energia da cana vale 3 belo monte. 2010. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/clipping/show.asp?cppCode=DA69094A-B777-49F2-916A-D49900F5C061>>. Acesso em: 8 fev. 2011.

UNIÃO DOS PRODUTORES DE BIOENERGIA - UDOP. Disponível em: <www.udop.com.br>. Acesso em: 22 jan. 2011.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO – USP. **Bibliografia de Aziz Ab' saber**. Disponível em: <<http://www.iea.usp.br/bibliografiadeazizabsaber.pdf>>. Acesso em: 22 jan. 2012.

USTULIN, E. J.; SEVERO, J. R. Cana de açúcar: proteger o ambiente e continuar gerando empregos. **Revista Gleba**, 2001. Disponível em: <<http://www.cna.org.br//gleba99/2001/Set/cana01.htm>>, acesso em 10/02/2011.

VALÉRIO FILHO, M. Técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto aplicadas ao estudo integrado de bacias hidrográficas. In: FERREIRA, M. E. E.; CRUZ, M. C. P. **Solos altamente suscetíveis à erosão**. Jaboticabal: FCAVUNESP, 1994. p. 223-242.

VEIGA FILHO, A. A.; FRONZAGLIA, T.; TORQUATO, S. A. A necessidade de inovação tecnológica agrícola para sustentar o novo ciclo expansionista do setor sucroalcooleiro. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; ANDRADE LANDELL, M. G. **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2008. p. 855-868.

VIAN, C. E. F. **Externo**. 2009. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_57_22122006154840.html>. Acesso: 22 fev. 2011.

VIANA, E. T., BATISTA M. A., TORMENA, C. A., DA COSTA, A. C. S., INOUE, T. Atributos físicos e carbono orgânico em latossolo vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 2105-2114, 2011.

VINCENT, R. K. Expanding horizons for geological applications of multispectral and hyperspectral remote sensing data. In: INTERNATIONAL CONFERENCE, APPLIED GEOLOGIC REMOTE SENSING, 13., Vancouver, 1999. **Proceedings...** Vancouver: Ann Arbor, 1999. p.33-40.

WALTER, A. C. S. Potencial energético da cana-de-açúcar. **STAB**, v. 11, n. 4, p. 29-34; mar./abr. 1993.

ZARONI, M. J. **Estimativa da produção de sedimentos em bacias hidrográficas por meio do modelo de erosão USLE e do índice de transferência de sedimentos – SDR**. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2006.

ZERMIANI, M. J. T.; NANNI, M. R.; COMUNELLO, É.; DEMATTÊ, J. A. M. Analysis of the occupation and land use in medium terrace of the Paraná rives – Brazil by GIS and remote sensing. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED GEOLOGIC REMOTE SENSING, 13., Vancouver, 1999. **Proceedings...** Vancouver: Ann Arbor, 1999. v. 2, p.161-167.

GLOSSÁRIO

1) Área de cana-de-açúcar disponível para colheita – São as áreas cultivadas com cana-de-açúcar passíveis de serem colhidas na safra corrente. Esta classe engloba três temas:

a) *Cana Soca* – recebe esta denominação as áreas cultivadas com cana-de-açúcar a partir da segunda colheita, é a classe de lavouras de cana que já passaram por mais de um corte, ou seja, a partir da primeira rebrota. Nesta classe também se encontram as lavouras reformadas com cana planta de ano;

b) *Reformada* – são as áreas de cana-de-açúcar que passaram por reforma dos talhões na safra anterior, ou seja, áreas onde as socas pouco produtivas foram substituídas e estarão disponíveis para colheita na safra corrente;

c) *Expansão* – Áreas que nas safras anteriores eram destinadas a outros usos do solo e na safra corrente estão sendo cultivadas com cana-de-açúcar e estarão disponíveis para colheita pela primeira vez. Lavouras de cana-de-açúcar que foram convertidas em outro uso por um período igual ou maior a duas safras e voltaram a ser cultivadas com cana-de-açúcar também 1 – Cana, 2 – Citrus, 3 – Outras culturas agrícolas, 4 – Mata, 5 – Pastagem, 6 – Outros, se inserem nessa classe. Para identificar essas áreas é necessário que o intérprete analise as imagens sob a classe “outros” do mapa da safra anterior.

2) Área de cana-de-açúcar em reforma – são as áreas que foram cultivadas com cana-de-açúcar na safra anterior, mas nas imagens utilizadas para o mapeamento da safra corrente não apresentam padrões de cultivo de cana-de-açúcar, indicando que foram substituídas por outro uso do solo. Se estas áreas voltarem a ser cultivadas com cana-de-açúcar na safra seguinte, pertencerão à classe *Reformada*. É a classe das lavouras de cana que não serão colhidas devido à reforma com cana planta de ano-e-meio ou por serem destinadas a outro uso. Quando a lavoura da classe "em reforma" é de fato reformada com cana planta de ano-e-meio ela passa para a classe "reformada" no ano safra seguinte.

3) Área total cultivada – é a área total ocupada por cana-de-açúcar, ou seja, a somatória da área de cana-de-açúcar disponível para colheita (1) e da área de cana-de-açúcar em reforma.

APÊNDICES

APÊNDICE A

Figura 17 – Fotos da Área de Estudo e Coleta de Solos

A) Lavoura de cana-de-açúcar em sistema de colheita mecanizada com incorporação da palhada. B) área de Reserva Legal (mata nativa) ao lado de lavoura de cana-de-açúcar.



C) Fotografia aérea da área de estudo, local da coleta do solo. Rancho Alegre Agroindustrial. D) Rotação de cultura de cana com crotalária, na reforma do canavial (adubação verde).



E) lavoura de cana queimada com colheita manual. Ao fundo, mata nativa (RL).
F) Colheita mecanizada.



G) Latossolo Vermelho arenoso – área de coleta. H) solo totalmente coberto por palha da cana.



G



H

I) Solo coberto pela palha da cana. J) lavouras de cana-de-açúcar, e ao fundo mata nativa (RL).



I



J

K) Área de cana queimada com colheita mecanizada. L) colheita mecanizada da cana queimada.



K



L

ANEXOS

ANEXO A

CANA-DE-AÇÚCAR: LINHA DO TEMPO

- 10.000 A.C. - Domesticação do açúcar na Papua Nova Guiné e expansão na Polinésia.
- A.C. - Expansão da cultura na Península Malaia, na Indochina e na Baía de Bengala.
- 640 - Início da expansão da cultura da cana-de-açúcar no Mediterrâneo.
- Séc. IX - Primeira descrição do processo de cultura e fabricação do açúcar na Índia.
- 1176 - Primeira referência à Massara (prensa), em Palermo, Sicília.
- Séc. XII - Primeira referência à roda vertical, na China.
- 1425 - D. Henrique manda buscar na Sicília as primeiras mudas de cana que foram plantadas na Ilha da Madeira.
- 1480 - Envio das primeiras mudas de cana da ilha da Madeira para as ilhas Canárias, por ordem do governador D. Pedro de Vera.
- 1490 - Primeira referência ao açúcar em Cabo Verde.
- 1516 - O rei D. Manuel, de Portugal, promulga o primeiro alvará tratando de promover o plantio da cana, determinando que se encontrasse gente prática capaz de dar princípio a um engenho de açúcar no Brasil. Construção do primeiro engenho em La Española por Gonzalo Eanes Veloza, casado com uma mulher da Ilha da Madeira.
- 1532 - Martin Afonso de Souza funda o primeiro engenho de açúcar brasileiro, em São Vicente, litoral de São Paulo.
- 1535 - Jerônimo de Albuquerque funda o primeiro engenho de açúcar no Nordeste, em Pernambuco, chamado de engenho da Nossa Senhora da Ajuda, nas proximidades de Olinda.
- 1613 - Primeira referência no Brasil ao novo engenho de 3 cilindros.
- 1650 - Descoberta do trem jamaicano, na ilha de Jamaica.

- 1751 - Introdução da cana-de-açúcar na Louisiana, então possessão francesa na América do Norte.
- 1801 - Primeira fábrica de açúcar de beterraba em Kunern, na Alemanha.
- 1802 - Imigrantes chineses na ilha Lanai (Hawai) iniciam fabricação de açúcar.
- 1806 - Início do uso do trem jamaicano no Brasil.
- 1811 - Bloqueio Continental de Napoleão Bonaparte promove a cultura da beterraba, ao dificultar a entrada de açúcar de cana do Novo Mundo.
- 1815 - Primeiro engenho a vapor na ilha de Itaparica (Brasil).
- 1822 - Introdução da máquina a vapor na Louisiana.
- 1823 - Primeiras experiências de cultivo da cana-de-açúcar em Port Macquarie (Austrália).
- 1830 - Descoberta da caldeira de vacuum por Norbert Rillius, natural de Nova Orleans.
- 1837 - Início do uso de cilindros de ferro no Brasil.
- 1838 - Fabricação de papel a partir do bagaço da cana na ilha de Martinica.
- 1879 - Descoberta da sacarina e seu comércio em 1901.
- 1933 - Crise leva à criação do Instituto do Açúcar e do Alcool (IAA), no Brasil.
- 1939 - 1945 - Japoneses extraem açúcar da batata doce.
- 1975 - O Brasil aposta na fabricação de álcool como combustível, hoje considerado pouco poluente.

Fonte: Ethanol Brasil, 2011.

ANEXO B

A Versatilidade Da Cana-De-Açúcar

Mais do que elemento essencial da formação do Brasil, a cana-de-açúcar transformou-se em parte integrante do imaginário do povo brasileiro. Na cozinha, desdobra-se em utilidades; na indústria, colabora para a produção de alimentos mais saudáveis, de fácil conservação. Dela vem o álcool combustível, a energia elétrica. Também pode produzir papel, plásticos, produtos químicos.

A cana-de-açúcar é versátil, palavra que, aliás, justificaria mais um hífen: cana-de-açúcar-versátil. Se preferirmos, grama-de-açúcar-versátil, pois a cana é uma gramínea, cujo potencial, variado e complexo, ainda pode ser muito explorado. No Brasil, em menos de 1% das terras agricultáveis plantam-se 4,5 milhões de hectares de cana (duas vezes a área do Estado do Piauí), matéria-prima que permite a fabricação de energia natural, limpa e renovável.

A cana é em si mesma usina de enorme eficiência: cada tonelada tem um potencial energético equivalente ao de 1,2 barril de petróleo. O Brasil é o maior produtor do mundo, seguido por Índia e Austrália. Na média, 55% da cana brasileira vira álcool e 45%, açúcar. Planta-se cana, no Brasil, no Centro-Sul e no Norte-Nordeste, o que permite dois períodos de safra. Plantada, a cana demora de ano a ano e meio para ser colhida e processada pela primeira vez. A mesma cana pode ser colhida até cinco vezes, mas a cada ciclo devem ser feitos investimentos significativos para manter a produtividade.

A cana é a força por trás das 307 'centrais energéticas' existentes no Brasil, 128 das quais estão em São Paulo, utilizando cana que cobre 2,35 milhões de hectares de terra. São usinas e destilarias que processam a biomassa proveniente da cana-de-açúcar e que alimentam um círculo virtuoso: produzem açúcar como alimento, energia elétrica vinda da queima do bagaço nas caldeiras, álcool hidratado para movimentar veículos e álcool anidro para melhorar o desempenho energético e ambiental da gasolina.

UDOP AGROENERGIA

ANEXO C

Órgãos Ligados Ao Setor Sucroalcooleiro

UNICA (União da Indústria de Cana de Açúcar)

A União da Indústria de Cana de Açúcar (UNICA) é a maior organização do setor de açúcar e bioetanol do Brasil. Sua criação em 1997 resultou da fusão de diversas organizações setoriais do estado de São Paulo, após a desregulamentação do setor no país. A associação se expressa e atua em sintonia com os interesses dos produtores de açúcar, etanol e bioeletricidade tanto no Brasil como ao redor do mundo. As 127 companhias associadas à UNICA são responsáveis por mais de 50% do etanol e 60% do açúcar produzido no Brasil.

O domínio técnico da UNICA compreende as áreas de meio ambiente, energia, tecnologia, comércio exterior, responsabilidade social corporativa, sustentabilidade, legislação, economia e comunicação.

No final de 2007, a UNICA abriu seu primeiro escritório internacional nos Estados Unidos e em 2008 na Europa, como parte de sua política de prover informações detalhadas e atualizadas sobre as importantes contribuições sócio-econômicas e ambientais do setor de açúcar, etanol e bioeletricidade a interlocutores como consumidores, governos, ONGs, empresas e mídia.

UDOP (União dos Produtores de Bioenergia)

Fundada em 28 de novembro de 1985, a UDOP - União dos Produtores de Bioenergia é uma entidade com representação em seis estados da federação, representando produtores de etanol, açúcar, bioeletricidade, biodiesel, similares e conexos.

A entidade nasceu da necessidade das destilarias autônomas de etanol, criadas no início do Proálcool, de trocarem informações sobre o setor na região Oeste Paulista. Hoje, a UDOP representa não apenas unidades instaladas em São Paulo, como também nos estados de Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraná, Goiás e Amazonas.

A atuação da UDOP é alicerçada no tripé: representatividade, treinamento e comunicação, que faz com que a entidade passe a ser referência em

todo o setor, participando ativamente da tomada de decisões sobre o futuro da bioenergia no Brasil e no mundo.

No quesito representatividade, a UDOP trabalha forte na representação de suas associadas junto a órgãos públicos de todas as esferas (municipal, estadual e federal).

No que se refere ao treinamento, a UniUDOP - Universidade Corporativa UDOP, se orgulha de ter qualificado e capacitado desde sua fundação mais de 70 mil profissionais para este segmento, possuindo ainda a missão de qualificar pelo menos mais 30 mil profissionais nos próximos anos, através de seus cursos presenciais realizados nos estados de São Paulo, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Goiás e Paraná, com o apoio dos sindicatos das indústrias de açúcar e etanol destes estados, bem como os cursos à distância, exibidos através do site da associação.

Já na área da comunicação, outro ponto forte da UDOP, a entidade promove importante contribuição voltado ao trabalho institucional do setor da bioenergia, através de seus dois principais canais de comunicação: o site www.udop.com.br, com recorde de acessos diários de internautas de mais de 100 países; e a TV UDOP, emissora de TV via web, exibido através do portal da entidade, e que igualmente tem obtido índices recordes de audiência.

CTC (Centro de Tecnologia Canavieira)

Desde 1969, o CTC – Centro de Tecnologia Canavieira tem se destacado no desenvolvimento de tecnologias que permitiram a evolução da produção e do processamento da cana-de-açúcar no Brasil. Atualmente, com cerca de 300 pessoas envolvidas em suas atividades, incluindo renomados mestres, doutores e cientistas, o CTC atua decisivamente para manter o Brasil na vanguarda mundial da produção sucroenergética.

Para desenvolver essas tecnologias, o CTC conta com uma estrutura significativa. Em Piracicaba, São Paulo, fica a sua sede e seus principais laboratórios dotados de tecnologias em estado-da-arte. Na Bahia, a estação de cruzamentos possui o maior e mais completo banco de germoplasma de cana-de-açúcar do mundo com mais 5 mil clones de variedades comerciais e espécies selvagens. As novas variedades de cana, após a etapa de cruzamentos, são

selecionadas e desenvolvidas em Pólos Regionais espalhados pelas diversas regiões canavieiras do país.

Com o intuito de agregar ainda mais qualidade à cultura da cana-de-açúcar, o CTC desenvolve outros programas de pesquisa: Etanol Celulósico, Biotecnologia, Agronomia, Benchmarking, Mecânica Agrícola e Industrial, Produção de Açúcar, Produção de Etanol e Produção de Energia. Isso certamente contribuirá para a sustentabilidade do setor sucroenergético e suprirá a crescente demanda por açúcar, etanol e energia.

IEA (Instituto de Economia Agrícola)

Os antecedentes embrionários do Instituto datam do período 1899-1900 na reforma da Secretaria da Agricultura, Viação e Obras Públicas, quando foram criados os serviços de estimativas de safras e de organização de estatísticas agrícolas. Em nova reestruturação da Secretaria, em 1907, foram criadas duas novas seções: a de Estatística e a de Estudos Econômicos.

Essa estrutura, passando de tempos em tempos por alterações menores, perdurou durante muitos anos.

Antecedente já mais próximo foi a criação da Seção de Economia Rural, no Instituto Agrônomo (IAC), de Campinas, por ocasião da grande reorganização promovida em 1935 na ainda Secretaria de Agricultura, Indústria e Comércio. Apesar da reconhecida necessidade de se incluir análises econômicas em pesquisas agrônomicas, mesmo com essa Seção tal fato não ocorreu devido à inexistência, nessa época, de especialistas em economia agrícola.

Com a profunda reforma pela qual passou a Secretaria no começo de 1942, foi criada a Comissão de Estudos de Economia Rural para tratar especificamente de assuntos econômicos, vinculada ao Departamento da Produção Vegetal (PDV), mas ainda pertencendo ao IAC.

Uma das modificações mais importantes introduzidas na estrutura administrativa da Secretaria da Agricultura deu-se em 1968, com a transformação da Divisão de Economia Rural no Instituto de Economia Agrícola (IEA), por meio do Decreto no 49.796 (de 11/06/68).

A estrutura funcional e o conteúdo do decreto davam as grandes linhas da política agrícola, assim como o futuro rumo da Instituição. O IEA ficava

subordinado diretamente ao secretário da Agricultura, no mesmo nível das coordenadorias da Pesquisa Agropecuária (CPA), de Pesquisa dos Recursos Naturais (CPRN) e de Assistência Técnica Integral (CATI).

Serviços prestados:

- Informações estatísticas e análises sócio-econômicas e ambientais
- Banco de dados de economia agrícola
- Biblioteca com acervo especializado em economia agrícola e assuntos correlatos
- Publicações especializadas em economia agrícola
- Análises e propostas de políticas públicas
- Cursos de especialização
- Softwares específicos para a agricultura e seu desenvolvimento local ou regional
- Consultoria para o setor público e privado

CANAOESTE (Associação dos Plantadores de Cana do Oeste do Estado de São Paulo)

Perfil:

A Canaoeste, Associação dos Plantadores de Cana do Oeste do Estado de São Paulo foi fundada em 1945 é uma das maiores associação de produtores de cana do mundo. É uma Associação de direito privado sem fins econômicos. Possui 2.820 associados, na maioria, pequenos e médios fornecedores, responsáveis pela entrega de aproximadamente 11,5 milhões de toneladas de cana na safra 2010/11. Com sede em Sertãozinho, possui 10 filiais com uma área de abrangência envolvendo mais de 45 municípios.

Visão:

Ser uma associação com excelência nos serviços que presta aos associados visando fortalecer a atividade sucroalcooleira, agregando ações para melhorar a qualidade de vida na região com investimentos em educação e saúde, buscando o bem estar onde atua sempre com Responsabilidade Social e Ambiental.

Missão:

"Congregar e representar os plantadores de cana-de-açúcar do Oeste do Estado de São Paulo, defendendo seus direitos e interesses frente às esferas pública, administrativa e judicial em todos os níveis, além de prestar assistência técnica, a fim de contribuir para o desenvolvimento econômico e social dos seus associados". Gerar valor para os seus associados, disseminando tecnologia e inovação aplicadas à cadeia da cana-de-açúcar.

ASSOCANA:

Associação Rural dos Fornecedores e Plantadores de Cana da Média Sorocabana foi fundada em 22 de abril de 1977, a fim de organizar e representar a classe dos plantadores de cana da região e prestar assistência social aos trabalhadores rurais canavieiros e seus dependentes. O primeiro atendimento a um trabalhador rural se deu no dia 19 de dezembro de 1979. A sede da Assocana está instalada em Assis. A Assocana hoje tem uma grande importância na representação dos plantadores de cana. A Associação é filiada à Orplana - Organização de Plantadores de Cana da Região Centro Sul do Brasil. Isso significa que sendo associado da Assocana, o produtor está bem representado em todos os âmbitos. Por meio da Orplana a Associação desenvolve um trabalho político importante, que tem surtido resultados positivos para todos os produtores de cana da região.

A Assocana representa seus associados em todas as negociações do setor, defendendo interesses e garantindo que o produtor de cana receba o preço justo e mantenha uma relação equilibrada com as usinas de açúcar e álcool. A entidade mantém cinco ambulatorios – Assis, Tarumã, Maracaí, Cândido Mota e Paraguaçu Paulista que oferecem assistência médica, odontológica e farmacêutica aos trabalhadores rurais e seus dependentes. Além disso, a área de Assistência Social desenvolve inúmeros projetos que contribuem para a melhoria da qualidade de vida dos trabalhadores rurais. A qualidade da produção regional é garantida pelo serviço de assistência técnica oferecido pela Assocana. Entre eles, destacam-se os serviços de topografia, aplicação de maturador, regulação de equipamentos,

experimentos para testar eficácia de produtos e fiscalização dos laboratórios das usinas de açúcar e álcool para controlar a entrada de cana dos fornecedores.

ORPLANA:

A ORPLANA - Organização de Plantadores de Cana da Região Centro-Sul do Brasil - foi fundada em 29 de junho de 1976, com o objetivo de organizar a classe dos produtores e ampliar sua representatividade no país e exterior. Possui sede em Piracicaba-SP, a 140 quilômetros da capital. Conta atualmente com 34 associações de fornecedores de cana nos Estados de São Paulo (26), Mato Grosso (1), Mato Grosso do Sul (1), Minas Gerais (3) e Goiás (2). A ORPLANA representa aproximadamente 18 mil fornecedores de cana.

Na safra 2009/2010, a ORPLANA representou 13.731 fornecedores de cana, que entregaram cerca de 90 milhões de toneladas de matéria-prima conforme dados do Sistema ATR - CONSECANA. Esses produtores representaram 25% do total da cana processada no Estado de São Paulo. A cana total entregue pelos fornecedores de cana na Safra 2009/2010 foi de 139,2 milhões de toneladas (equivalente a 18,3 toneladas de ATR). Só no Estado de São Paulo, foram 124 milhões de toneladas (equivalente a e 16,4 milhões de toneladas de ATR).

A ORPLANA promove assessoria técnica, jurídica e atua na difusão do conhecimento entre as Associações de Fornecedores de Cana. Desenvolve o diálogo com órgãos públicos, privados e sociedade, no âmbito nacional e internacional, sempre mostrando a relevância do papel do produtor na economia e defendendo os interesses deste